

А.Л. СУЗДАЛЕВА

**ВТОРАЯ ГЕОЛОГИЯ –
НАУКА О ТЕХНОГЕННЫХ ТЕЛАХ ЛИТОСФЕРЫ**

**Москва
РадиоСофт
2022**

УДК 504.5

ББК 26.3

С-89

Печатается по решению Научного совета ООО «Альфамед 2000»

Рецензенты:

профессор кафедры инженерных изысканий и геоэкологии ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», доктор геолого-минералогических наук, профессор В.П. Хоменко

профессор кафедры инженерной экологии и охраны труда ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», доктор технических наук, профессор В.Т. Медведев

С 89

Суздалева А.Л. Вторая геология – наука о техногенных телах литосферы: монография – М.: РадиоСофт, 2022. – 584 с.

В монографии систематизированы и подвергнуты обобщенному анализу различные аспекты техногенеза литосферы. Обоснована необходимость системного подхода к управлению этими процессами. Рассмотрено возможное влияние процессов техногенеза литосферы на глобальные экологические и геополитические проблемы современности. Предложена классификация техногенных геологических тел. Исследованы закономерности их образования, трансформации, воздействия на экологические и социальные условия, что позволило выявить взаимосвязь и общие закономерности развития многих процессов, которые ранее изучались изолированно друг от друга. Разработан концептуально-методологический подход, объединяющий огромный массив разнородных материалов в единый предмет исследования новой научной дисциплины – второй геологии. Термин «вторая геология» ранее употреблялся для обозначения совокупности процессов в сфере обращения с отходами. Его толкование, сформулированное в монографии, не противоречит первоначальному, а скорее расширяет его содержание. Многие виды описанных в работе техногенных геологических тел представляют собой скопления отходов или образуются в процессе миграции входящих в их состав веществ. Другие виды тел, хотя и не являются отходами в узком смысле, но также возникают как побочные продукты человеческой деятельности. Граница между этими последствиями техногенеза достаточно условна. Вместе с тем, изучение всех видов техногенных образований в литосфере как единого предмета исследований способствует более глубокому видению важных проблем и, возможно, позволит найти принципиально новые пути их решения. Описание процессов и явлений потребовало не только систематизации наблюдающихся феноменов, но и необходимость введения новых терминов. Вместе с тем, многообразие затронутых в монографии проблем ограничило возможности в плане их детального анализа.

Материалы монографии представляют интерес для широкого круга специалистов и могут быть рекомендованы для использования при преподавании в вузах предметов, затрагивающих проблемы техногенеза окружающей среды и экологических аспектов освоения недр.

Suzdaleva A.L. Second geology - science about technogenic bodies of the lithosphere: monograph – Moscow: RadioSoft, 2022. – 584 p.

Монография и другие материалы по данной тематике размещены в свободном доступе на авторском сайте проф. Суздалевой А.Л.: www.ntsyst.ru

ISBN 978-5-93274-326-3

© Суздалева А.Л., 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА I. ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА	11
1.1. Техногенез, геологическая среда и техногенные тела литосферы	11
1.2. Иерархия проявлений техногенеза литосферы	21
1.3. Востребованность, предмет изучения и задачи «второй геологии»	24
1.4. Возникновение и трансформация техногенных тел.....	36
1.5. Виды техногенных геологических тел (структур)	45
ГЛАВА II. ТЕХНОГЕНЕЗ ЛИТОСФЕРЫ И ЕЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ...	70
2.1. ЛИТОСФЕРА, БИОСФЕРА И БИОТЕХНОСФЕРА КАК СРЕДА СУЩЕСТВОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ТЕЛ.....	70
2.2. ГЕОРЕСУРСНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ	74
2.2.1. Трансформация георесурсной экологической функции в условиях техногенеза земной коры	74
2.2.2. Вещественный аспект георесурсной экологической функции литосферы	76
2.2.3. Топический аспект георесурсной экологической функции	79
2.3. ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ	82
2.3.1. Значимость и основные виды геодинамических процессов.....	82
2.3.2. Эндогенная геодинамика	83
2.3.3. Экзогенная геодинамика.....	93
2.4. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ	115
2.4.1. Роль техногенных тел в формировании химизма окружающей среды.....	115
2.4.2. Техногенные минералы и техногенные горные породы	117
2.4.3. Техногенные геохимические (биогеохимические) барьеры	122
2.4.4. Техногенные геохимические и биогеохимические аномалии (провинции).....	126
2.4.5. Нарушение геохимических (биогеохимических) циклов в результате процессов образования и трансформации техногенных тел	131
2.5. ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ	139
2.5.1. Значимость и основные формы геофизических воздействий, обусловленные возникновением техногенных тел в земной коре	139
2.5.2. Трансформация естественных геофизических полей и экранирование подземных источников физического загрязнения.....	142
2.5.3. Техногенные тела – источники физических воздействий	149
2.6. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ЛИТОСФЕРЫ	153
ГЛАВА III. ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫЕ И НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА	155
3.1. ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ И ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ	155
3.2. ХВОСТОХРАНИЛИЩА И ШЛАМОХРАНИЛИЩА	161
3.3. ГОРНЫЕ ОТВАЛЫ И ТЕРРИКОНЫ	165
3.4. НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА	173

ГЛАВА IV. СТВОЛОВЫЕ И ГЛУБИННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА.....	183
4.1. ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ И ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ	183
4.2. ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА И ФОРМАЦИИ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ БУРЕНИЯ, ЭКСПЛУАТАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ (КОНСЕРВАЦИИ) НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН	185
4.3. ГЛУБИННЫЕ ФРЕКИНГОВЫЕ ТЕЛА, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ СЛАНЦЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	200
4.4. ГЛУБИННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ И ПОДЗЕМНОМ СЖИГАНИИ УГЛЯ, А ТАКЖЕ ПРИ ПОДЗЕМНОМ СЖИГАНИИ ОТХОДОВ	206
4.5. ТЕХНОГЕНЕЗ ЛИТОСФЕРЫ, ОБУСЛОВЛЕННЫЙ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	215
4.6. ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА И ФОРМАЦИИ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ СООРУЖЕНИИ, ЭКСПЛУАТАЦИИ ШАХТ И НА ПОСТЭКСПЛУАТАЦИОННОМ ЭТАПЕ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА	225
4.7. ОБРАЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ	239
4.8. ГЛУБИННЫЕ ХРАНИЛИЩА УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА В ТОЛЩЕ ГОРНЫХ ПОРОД	244
ГЛАВА V. ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ	247
5.1. ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ И ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ	247
5.2 ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА, ВОЗНИКАЮЩИЕ ИЗ ГОРОДСКИХ СВАЛОК	251
5.3 ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ИЗ СВАЛОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ПОЛИГОНОВ ЗАХОРОНЕНИЯ ОПАСНЫХ ОТХОДОВ	267
5.4. ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА, ФОРМИРУЮЩИЕСЯ ИЗ ОТХОДОВ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	273
5.5. ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ	276
ГЛАВА VI. ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА, ВОЗНИКАЮЩИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ЗЕМНОЙ КОРЫ.....	281
6.1. ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ И ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ	281
6.2 ТЕХНОГЕННО-ТРАНСФОРМИРОВАНИЕ ГОРОДСКИЕ ГРУНТЫ И ПОЧВО-ГРУНТЫ (УРБАНОЗЕМЫ).....	295
6.3. ТЕХНОГЕНЕЗ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПРИ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОМ ИЗМЕНЕНИИ РЕЛЬЕФА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ.....	310
6.4. ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НАЗЕМНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	316
6.5. ТЕХНОГЕНЕЗ ЛИТОСФЕРЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ (МЕТРОПОЛИТЕНА И ТОННЕЛЕЙ)	330
6.6. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОН	338
6.7. КУЛЬТУРНЫЙ СЛОЙ (АНТРОПОГЕННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ)	344

6.8. Поля фильтрации (орошения) и иловые площадки городской канализации	350
6.9. Агропромышленные тела	359
6.10. Дефростационные техногенные тела и техногенные криопэги.....	372
ГЛАВА VII. ПРИБРЕЖНЫЕ, ОСТРОВНЫЕ И ПОДВОДНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА.....	377
7.1. Процессы образования и основные формы	377
7.2. Техногенные тела искусственных земельных участков и искусственных островов	384
7.3. Техногенные тела искусственных рифов	390
7.4. Техногенные тела (формации) портовых и берегозащитных гидротехнических сооружений, а также искусственных пляжей	397
7.5. Подводные техногенные геологические тела, возникающие при проведении дноуглубительных работ	406
7.6. Формирование техногенных и природно-техногенных донных наносов	411
7.7. Засорение дна водных объектов.....	419
7.8. Подводные захоронения радиоактивных отходов и конструкций, содержащих радиоактивные материалы	425
7.9. Биотехногенные тела и структуры, формирующиеся из побочных продуктов промышленного рыбозаведения и аквакультуры	429
ГЛАВА VIII. ТЕХНОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	433
8.1. Процессы образования и основные формы	433
8.2. Техногенные месторождения, возникшие на основе отходов горнодобывающих, горно-обогачительных, металлургических предприятий и объектов теплоэнергетики	442
8.3. Добыча и использование свалочного газа	446
ГЛАВА IX. ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА ЛИТОСФЕРЫ КАК ЭЛЕМЕНТЫ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	449
9.1. Образование природно-технических систем в процессе техногенеза литосферы	449
9.2. Изменение геоэкологических условий при образовании и трансформации техногенных тел	455
9.3. Социально-психологическая значимость процессов техногенеза литосферы	460
9.4. Концептуально-методологические принципы формирования геологической среды при создании управляемых природно-технических систем	470
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	477
ЛИТЕРАТУРА.....	483
СЛОВАРЬ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕРМИНОВ.....	554

ВВЕДЕНИЕ

Ценность научных достижений существенно возрастает, если выявленные в процессе исследований закономерности развития процессов, способных изменить состояние окружающей среды, опережают по времени наступление обусловленных ими нежелательных последствий. Еще более актуальной задачей является заблаговременная разработка методов управления ситуацией, внедрение которых в практику снижает риск допустить возникновения подобных явлений. Выполнение этой задачи, прежде всего, требует систематизации и обобщенного анализа многочисленных разрозненных фактов, пока только указывающих на возможное ухудшение состояния окружающей среды или описывающих отдельные аспекты этого процесса. К сожалению, практика показывает, что проведение подобных исследований становится актуальным лишь после того, как изучаемые явления достигают уровня, способного нанести значимый экономический ущерб или вызвать ухудшение здоровья широких масс населения. Именно по такому сценарию развивалось изучение и разрабатывались меры для предотвращения катастрофического загрязнения водных объектов, атмосферы или широкомасштабной деградации лесов и утраты плодородных почв. При подобном подходе основное внимание уделяется двум проблемам. Во-первых, это ретроспективный анализ экологических и социально-экономических последствий уже произошедших изменений окружающей среды. Во-вторых, это решение частных проблем, создающих в данный момент наибольшую опасность для здоровья или угрозу нарушения нормальной жизнедеятельности населения конкретного региона. Такие действия, безусловно, необходимы, но они во многих случаях уже не способны восстановить ранее существовавшие условия или компенсировать ущерб, нанесенный окружающей среде, населению и экономике страны.

На современном этапе проявления различных аспектов техногенеза литосферы постепенно приобретают глобальное распространение, что принципиально меняет характер последствий этого процесса в целом. Постепенно техногенная трансформация земной коры становится одним из важнейших факторов формирования будущей среды существования человека и всех других населяющих планету организмов. Однако озабоченность научного сообщества вызывают только отдельные проявления этого процесса, например, загрязнение вод при добыче сланцевой нефти. Вместе с тем, спектр явлений подобного рода весьма широк. Чтобы лучше представить масштабы и многоплановость проблемы, кратко рассмотрим историю воздействия человека на литосферу. Ресурсы земной коры начали интенсивно осваиваться, начиная со времени возникновения первых цивилизаций. Масштаб этой деятельности неуклонно возрастал. Изменялся и состав ее главных направлений. Если вплоть до первой четверти XX века наибольшее распространение имела добыча руды для выплавки металлов и каменного угля, то затем приоритетное значение приобрело освоение нефтегазовых месторождений. Но некоторые факты указывают на то, что и этот период освоения недр в обозримом будущем может утратить свое первостепенное значение. Например, это может произойти при переходе человечества на иные формы получения энергии. Такую возможность еще десятилетия назад предвидел один основателей ОПЕК, бывший министр нефтяной промышленности Саудовской Аравии шейх Ахмед Заки Ямани, которому приписывается изречение: «Каменный век закончился не потому, что кончились камни, и нефтяной век кончится не потому, что кончится нефть». Но сокращение добычи углеводородного сырья, скорее всего, не приведет к ослаблению техногенной трансформации литосферы. Более вероятным представляется рост ее масштабов за счет развития других видов человеческой деятельности, что уже сейчас вызывает принципиальное изменение

самого характера освоения литосферы. Если во все предшествующие исторические эпохи человек ограничивался изъятием из нее нужных ему веществ, то сейчас он постепенно начал изменять саму структуру земной коры, вводя в ее состав новые элементы. Примерами могут служить получающие все большее распространение – возведение искусственных земельных участков и островов, захоронение и хранение в недрах Земли отходов и других веществ. В ходе различных видов деятельности изменяются механические и физико-химические свойства массивов горных пород, нарушается их целостность и прочностные свойства. Одним из последствий подобных процессов является возникновение техногенных землетрясений, а также развитие различного рода опасных явлений экзогенной геодинамики (спровоцированные человеческой деятельностью оползни, обвалы, провалы и др.).

Техногенная трансформация литосферы по своему характеру, а также условиям и времени протекания принципиально отлична от естественных геологических процессов. Как всякий новый предмет научного исследования она требует для своего изучения развития отдельной научной дисциплины, которую, в силу вторичности процессов искусственного преобразования земной коры, можно обозначить как вторую геологию. Следует отметить, что данный термин уже использовался и ранее, но в более узком смысле – как научное обоснование деятельности по захоронению в литосфере отходов и использования их в качестве вторичного сырья.

В монографии предмет второй геологии понимается значительно шире. Он включает изучение процессов образования, динамики и трансформации всех видов техногенных тел и иных геологических образований, прямо или косвенно образующихся в земной коре и на ее поверхности в результате человеческой деятельности. На современном этапе процесс техногенеза литосферы, хотя и проявляется повсеместно, еще не привел к крупномасштабным необратимым катастрофическим изменениям окружающей среды.

Поэтому именно сейчас важно познать общие закономерности развития данного процесса и разработать механизмы управления им. Цель настоящей работы заключается в создании концептуально-методологических основ этой деятельности. При ее выполнении обобщен и подвергнут системному анализу обширный массив разрозненных материалов, характеризующих техногенные геологические тела различных видов. Исследованы закономерности их образования, динамики, трансформации, воздействия на экологические условия, а также сделана попытка оценить как возможности управления данными процессами, так и их практического использования в различных целях.

Многоплановость проблем техногенеза литосферы не позволяет вместить в рамках одной монографии подробное описание всех обуславливающих его процессов. Значительная их часть рассмотрена схематично и не включает анализ некоторых аспектов. В ряде случаев описание наблюдающихся процессов и явлений сознательно упрощалось с целью улучшения возможности их восприятия широким кругом специалистов, не имеющих специального геологического образования. По этой же причине в монографии не использовались некоторые термины, для понимания которых необходима специальная подготовка в какой-то узкой области.

Разнообразие видов человеческой деятельности, вызывающих техногенез литосферы, обусловило необходимость повторного описания некоторых явлений в разных разделах монографии. Так, закачка отходов бурения в поглощающие пласты, приводящая к образованию в них глубинных техногенных тел, рассматривается как в части работы, посвященной воздействию на литосферу различных способов размещения отходов нефтегазовой отрасли, так и упоминается при оценке воздействия бурения скважин на недра.

Следует заметить, что при описании проблемы основное внимание исследователей, занимающихся освоением недр, часто

концентрируется не на аспектах, представляющих наибольший интерес с точки зрения второй геологии (т.е. на образовании в литосфере техногенных образований и их воздействии на процессы, происходящие в земной коре), а на иных вопросах. Так, при изучении процессов образования горнопромышленных отвалов основное внимание концентрируется на оценке устойчивости их склонов, а также решении вопросов водоотведения. В отличие от этого с позиций второй геологии больший интерес представляют процессы формирования состава и структуры как техногенных геологических тел, так и их взаимодействие с окружающими естественными массивами горных пород. Эти процессы к настоящему времени исследованы далеко не в полной мере. Поэтому при их описании, наряду с отказом от использования некоторых узкоспециальных понятий, возникла необходимость введения некоторых новых терминов. Кроме этого, потребовалось уточнить трактовку некоторых понятий, адаптируя ее к специфике предметов исследования. Определения всех терминов приводятся в словаре, размещенном в конце монографии в качестве приложения.

В заключение необходимо отметить, что автор монографии не обладает базовым геологическим образованием. Сфера его научных интересов ограничивается процессами техногенеза окружающей среды, частью которой являются верхние слои литосферы. Вероятно, что специалисты, имеющие более глубокие знания в области геологии, обнаружат в работе ряд ошибок, неточностей и некорректного использования специальных терминов. Это неизбежно при изучении предметов, одновременно представляющих интерес для различных научных дисциплин. Примером могут служить ошибочные трактовки различных биологических процессов, нередко встречающиеся в публикациях, касающихся экологической тематики, которые написаны специалистами различного профиля, не обладающими систематизированными знаниями в данной области. Вместе с тем

выдвигаемые ими идеи могут иметь большую научную ценность и позволяют непредвзято анализировать проблемы, обращая внимания на ранее не учтенные аспекты. Хочется надеяться, что и ошибочные или недостаточно обоснованные суждения, высказанные автором монографии, также будут в дальнейшем скорректированы и развиты другими исследователями проблем техногенеза литосферы.

ГЛАВА I. ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА

1.1. ТЕХНОГЕНЕЗ, ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА И ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА ЛИТОСФЕРЫ

Техногенез, т.е. процесс техногенной трансформации литосферы сопровождал человеческой цивилизации еще на самых ранних этапах ее развития. В связи с этим период геологической истории, начавшийся около 8000 лет назад, было предложено *технозойским* или *техногеом* (Перельман, 1989). Более широкое распространение, благодаря работам нобелевского лауреата Пауля Крутцена (Crutzen, Stoermer, 2000; Crutzen, 2002), получил близкий по содержанию термин *антропоцен*. Некоторые исследователи рассматривают его в качестве отдельной единицы геохронологической шкалы (Davis, 2011; Zalasiewicz et al., 2011a; Шешнёв, 2017). Несмотря на существенные различия интерпретации данного понятия, практически во всех случаях его использования в области наук о Земле, антропоцен – это неформальная геологическая эпоха¹, во

¹ В Международной комиссии по стратиграфии (International Commission on Stratigraphy (ICS) в рамках Подкомиссии по четвертичной стратиграфии была создана рабочая группа, рассматривающая возможность официального признания антропоцена в качестве единицы геохронологической шкалы (Гиббард, 2015; Finney, Edwards, 2016). Но до настоящего времени этот вопрос окончательно не решен и антропоцен остается неформальным геохронологическим термином.

время которой человеческая деятельность стала основным фактором формирования земной коры.

Оценить общий объем подвергшейся техногенезу земной коры в настоящее время невозможно. Вместе с тем, не вызывает сомнений, что он весьма значителен и существует хорошо выраженная тенденция его увеличения. Неконтролируемая техногенная трансформация литосферы не только приводит к закономерному ухудшению экологических условий на поверхности планеты, но и все чаще воздает угрозу возникновения серьезных катастроф (Осипов, 2016).

Постоянное расширение масштабов и видов воздействия человека на литосферу, а также повышение значимости его последствий, обусловило необходимость выделения участков, в которых данный фактор уже вызвал значимые изменения свойств земной коры. Для их обозначения академиком Е.М. Сергеевым (1979; 1982) был предложен термин *геологическая среда*, обозначающий любые горные породы и почвы, слагающие верхнюю часть литосферы, которые испытывают воздействие инженерно-хозяйственной деятельности человека, приводящее к изменению протекающих в них природных геологических процессов и возникновению ранее не свойственным им техногенных процессов. Интерпретация этих явлений специалистами, работающими в различных сферах, принципиально отличается. С экологической точки зрения возникновение и развитие геологической среды можно представить, как создание человеком новых антропогенных (техногенных) и природно-антропогенных (природно-техногенных объектов). В соответствии с этим, согласно определениям базовых экологических терминов, данных в статье 1 Федерального закона «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. №7-ФЗ, геологическую среду следует считать частью окружающей среды. Вместе с тем, ряд специалистов-геологов высказывает мнение, что участки земной коры, сформировавшиеся в результате или под

влиянием под человеческой деятельности (т.е. участки геологической средой в понимании Е.М. Сергеева), следует рассматривать как геологические образования, возникшие в эпоху так называемого *антропоцена* (Zalasiewicz et al., 2011б; Waters et al., 2014; Шешнёв, 2017).

Уровень, характер и последствия техногенного воздействия на различные части геологической среды весьма многообразны (Котлов, 1978; Горшков, 1982). По этой причине геологическая среда редко бывает однородной. Значительно чаще она состоит из нескольких различающихся по структуре и составу локальных образований – *техногенных геологических тел*. В монографии они рассматриваются в качестве базового элемента процессов трансформации земной коры, происходящих под воздействием самых различных видов человеческой деятельности. Подобный унифицированный методологический подход позволяет систематизировать все многообразные проявления техногенеза литосферы вне зависимости от характера их источников и форм. В результате становится возможным совместный анализ разнородных материалов и системное исследование процесса техногенеза литосферы.

В.И. Вернадский (2004) использовал термин «тело» для обозначения любых вещественных объектов окружающего мира, которые разделял на три категории:² тела живые (т.е. живые организмы), косные тела, в формировании которых организмы не участвовали, и биокосные тела, являющиеся продуктом взаимодействия живых организмов и косных тел.

Косные тела отличаются наиболее высокой стабильностью. Многие из них, не изменяя своего состава, существуют на

²Категории «тел» не следует смешивать с выделяемыми В.И. Вернадским в составе биосферы основными видами веществ: живое вещество, биогенное вещество, косное вещество, биокосное вещество и вещество космического происхождения.

протяжении длительных геологических эпох. Вместе с тем, всегда постоянно происходит и образование новых тел данной категории. Они возникают в результате трансформации ранее существовавших. Химические элементы, слагавшие одно косное тело, переходят в состав другого. Исключением по В.И. Вернадскому является поступление в земную кору вещества космического происхождения. Однако заметную роль это вещество играло лишь в особых случаях, например, при формировании материала метеоритных кратеров (астроблем) и так называемых «иридиевых прослоев», отлагавшихся на поверхности земной коры в результате выпадения вещества крупных метеоритов распыленного в атмосфере после их соударения с Землей (Альварес, Азаро, 1990; Алексеев и др., 1990).

В геологии термин «тело» и «геологическое тело» употребляется достаточно часто, но в более узком значении. Он используется для обозначения участков земной коры, обладающих определенными свойствами, благодаря которым их можно рассматривать как отдельные образования, имеющие достаточно четкие границы и форму (Косыгин и др., 1977).

В современном мире новые виды косных тел возникают, главным образом, в результате технической деятельности человека и, следовательно, их можно обозначить как техногенные тела. К техногенным телам можно также отнести и искусственно создаваемые биокосные тела. Примером, последних могут служить скопления твердых бытовых отходов, состав которых меняется в результате интенсивных микробиологических процессов. Кроме того, живые организмы, разлагающие подобные техногенные тела, могут составлять значительную часть их массы.

Обусловленный человеческой деятельностью процесс образования новых искусственных косных и биокосных тел является одним из проявлений техногенеза. Данный термин был предложен А.Е. Ферсманом (1934), в работе которого содержится следующее определение: «Техногенез – это совокупность

геохимических и минералогических процессов, вызываемых технической (инженерной, горно-технической, химической, сельскохозяйственной³) деятельностью человека». В настоящее понимание термина «техногенез» существенно расширилось, что обусловлено все возрастающей многоплановостью человеческой деятельности, в ходе которой происходит трансформация не только земной коры (геохимических и минералогических процессов), но и всех других геосфер. Определения данного понятия в различных источниках существенно отличаются (Розанов, 2021). Широкое распространение получил взгляд на техногенез как на совокупность процессов нарушения (разрушения) человеком природных объектов и их последствий (Лаврусевич, 2010; Осипов, 2016).

В монографии под **техногенезом** понимается *процесс трансформации окружающей среды, обусловленный прямыми и косвенными воздействиями различного характера, связанными с функционированием отдельных хозяйствующих субъектов и их комплексов, а также с существованием бесхозных, недействующих техногенных объектов* (Суздалева, Горюнова, 2014).

Прямые воздействия – это изменения, возникающие непосредственно под влиянием техногенного фактора. Например, это разрушение массивов горных пород при открытой добыче полезных ископаемых. Как правило, это сопровождается образованием техногенных тел в форме отвалов из вскрышных и пустых пород, также продуктов первичной обработки добываемых полезных ископаемых. **Косвенные воздействия** представляют результат двух и более процессов, между которыми прослеживается причинно-следственная связь. Примером таких воздействий может служить изменение интенсивности процесса седиментации и состава осаждающейся взвеси, формирующей отложения на дне водных объектов, при хозяйственном освоении водосборных

³Написание терминов приведено как цитируемом источнике.

бассейнов. Содержание твердого стока в подобных условиях может многократно возрасти, а состав принципиально измениться (Алексеевский, 1998; Курочкина и др., 2016). Первопричиной возникновения техногенных тел виде осадков на дне водных объектов является усиление эрозии и попадание в составе речного стока частиц различных аллохтонных материалов (мелкофракционных строительных отходов и др.). Но воздействие техногенеза (хозяйственного освоения водосборного бассейна) на образование донных осадков реализуется посредством нескольких процессов:

1) образования значительного количества мелких частиц различного генезиса, в т.ч. техногенного и природно-техногенного (продукты спровоцированной человеческой деятельности эрозии почв и горных пород);

2) поверхностного стока, переносящего продукты эрозии в водные объекты;

3) осаднения продуктов эрозии и формирование в результате этого донных отложений.

В широком смысле в качестве техногенных тел можно рассматривать не только искусственно создаваемые скопления вещества, существующие в геологической среде, но и естественные тела, трансформированные в результате человеческой деятельности. К ним, в частности, можно отнести окультуренные почвы и сильно загрязненные водные объекты. Но, чтобы представлять собой предмет геологического исследования такое «тело», должно представлять собой нечто, что можно рассматривать как часть земной коры, а не гидросферы. Это образование должно существовать достаточно длительное время, иметь определенные состав, свойства и границы, позволяющие рассматривать его как отдельную структуру в составе геологической среды. Кроме того, оно должно обладать относительно большим объемом. Учитывая это можно дать следующее определение: ***техногенное геологическое тело*** – это любое длительно существующее в земной коре или на ее

поверхности скопление вещества, возникшее как результат целенаправленной человеческой деятельности или как ее побочный продукт, и сопоставимое по своим масштабам с естественными геологическими телами. Условно минимальный объем техногенного тела можно принять 100 м^3 , а наименьший срок сохранения 50% своей массы (без целенаправленных усилий человека по ее ликвидации) – не менее 10 лет. Для обозначения аналогичных скоплений меньших масштабов ($100 \text{ м}^3 - 10 \text{ м}^3$) можно предложить термин **«техногенная геологическая структура»**, а для образований объемом от 10 м^3 до $1,0 \text{ м}^3$ – **«техногенный блок»**. Аналогичные объекты меньшего размера можно описывать как **«техногенное включение»** ($1,0 - 0,1 \text{ м}^3$). Под **«структурным элементом техногенного тела»** в монографии понимается любая, содержащаяся морфологически обособленная частица размером менее $0,1 \text{ м}^3$, содержащаяся в данном теле, а под **«компонентом техногенного тела»** – вещество, участвующее в формировании его химического состава.

Следует указать, что термин техногенное тело употреблялся и ранее, но в более узком смысле, например, для обозначения горнорудных отвалов (Бортникова и др., 2003; 2006). В более широком смысле тела и структуры, образовавшихся в процессе техногенеза литосферы также обозначались как «антропогенные отложения» (Котлов, 1977), «антропогенные образования» (Горшков, 1982), «искусственные грунты» (Сергеев, 1982), «техногенные отложения» (Тютюнова и др., 1988). Был также предложен термин «техногенные формации», представляющие собой комплекс техногенных образований, занимающих определенную площадь и имеющие мощность не менее 1 м (Каздым, 2010). Близким, но более широким по смыслу является также встречающееся в научной литературе понятие «техногенное образование». Е.Г. Язиков с соавт. (2016) определяет его как

«скопление на поверхности или в горных выработках Земли, в её недрах, гидросфере или атмосфере продуктов, созданных человеком, а также минеральных веществ, искусственно отделенных от природного массива или подвергшихся изменению непосредственно в массиве в результате деятельности человека, являющихся отходами». Таким образом, диапазон масштабов подобных скоплений не указывается, а область их существования может находиться вне пределов земной коры, например, в атмосфере. В научной литературе также используется понятие техногенные массивы, под которыми подразумеваются искусственно сформированные в природном ландшафте геологические тела, представленные горным породами, отходами обогащения, золами, шлака и шламами (Гальперин и др. 2006а,б; Гальперин и др., 2012). Их основными разновидностями считаются намывные хвостохранилища горно-обогатительных предприятий и отвалы открытых горных выработок, а также свалки промышленных и бытовых отходов. Подобные образования представляют собой лишь одну из многочисленных категорий техногенных геологических тел (см. раздел 1.4), а именно – поверхностные техногенные тела, образовавшиеся в процессе добычи и первичной переработки полезных ископаемых.

Между естественными и техногенными телами существует ряд принципиальных отличий:

1. Как следует из приведенного выше определения понятия техногенное тело основным фактором формирования его состава и структуры является прямое или косвенное воздействие человеческой деятельности. Природные факторы также могут оказывать влияние на этот процесс, но их воздействие не может вызывать принципиального изменения характера этого тела. Так, отвалы горных выработок формируются из переработанных естественных горных пород, но их масштаб, место размещения,

конфигурация, состав и структура определяется характером работы горнодобывающего предприятия.

2. Присутствующие в техногенных телах вещества, могут не встречаться в естественных условиях. Их примером могут служить отходы из искусственных полимеров (пластмасс и др.), а также так называемые «техногенные минералы», не образующиеся в ходе естественных процессов, протекающих в земной коре.

3. Процессы образования и трансформации техногенных тел, как правило, происходят с несравненно большей скоростью. Они в значительно в большей степени подвержены разрушению при воздействии внешних факторов (эрозии, суффозии, дефляции и др.).

4. Возникновение техногенных тел представляет собой нарушение естественных процессов формирования земной коры, а в более широком понимании процесс, ведущий к нарушению структурно-функциональной организации биосферы. По этой причине данные явления могут рассматриваться как потенциальная угроза ухудшения состояния окружающей среды.

Четко разграничить техногенные и естественные геологические тела в ряде случаев затруднительно. В земной коре существуют образования, которые можно обозначить как ***природно-техногенные геологические тела***. Они представляют собой результат совокупного взаимодействия естественных и техногенных факторов. Приоритетной значимостью ни одна из категорий этих воздействий в данном случае не обладает. Примером могут почвы, на которых осуществляется выращивание сельскохозяйственных культур. Механической трансформации и химической повергается только их верхний горизонт. Строение (стратификация) более глубоких горизонтов сохраняет естественный облик. Вместе с тем, почвенный покров представляет собой целостное образование, состояние элементов которых взаимосвязано. Помимо прочего, условия во всех горизонтах почвенного профиля во многом зависят от протекающих в его различных слоях естественных

микробиологических процессов, а также от развития корневой системы растений и жизнедеятельности мелких почвенных животных. Минимальный объем природно-техногенных тел также должен составлять 100 м³.

Процесс техногенеза участка земной коры, т.е. ее изменения под воздействием человеческой деятельности, может находиться на еще более низком уровне, когда он оказывает значимое влияние на состояние участков земной коры, но это не сопровождается их принципиальным изменением. Подобные образования, возникающие в процессе техногенеза земной коры, можно назвать **зонами техногенного влияния**. Они представлены естественными массивами горных пород, подвергающихся воздействию человеческой деятельности на уровне, еще не достаточном для принципиального изменения их изначальной структуры и свойств. Например, это естественные массивы горных пород, техногенное обводнение которых на данном этапе не вызвало интенсивного развития разрушительных экзогенных процессов. В качестве зон техногенного влияния можно также рассматривать относительно небольшие по масштабам техногенные геохимические аномалии (см. разд. 2.4.4).

Таким образом, геологическая среда включает следующие локальные образования:

- техногенные геологические тела;
- природно-техногенные геологические тела;
- зоны техногенного влияния.

Четких границ между перечисленными категориями локальных проявлений техногенеза не существует. Так, большинство техногенных тел формируется в процессе переработки материалов естественного происхождения. Их природные особенности (например, химический состав) во многом определяют свойства нового создаваемого в процессе человеческой деятельности участка земной коры. По этой причине в зависимости от характера

исследований близкие по происхождению и свойствам скопления вещества в одном случае они может рассматриваться как техногенные тела, а в другом – как природно-техногенные. Переход от техногенных тел к зонам техногенного влияния часто происходит плавно, без четко выраженных границ, за пределами свойства горных пород становятся существенно иными. Вместе с тем, выделение техногенных и природно-техногенных тел, а также зон техногенного влияния нередко значительно облегчает описание и анализ наблюдаемых явлений.

1.2. Иерархия проявлений техногенеза литосферы

Осуществляемый под воздействием человеческой деятельности процесс трансформации земной коры не следует рассматривать как многочисленные отдельные случаи образования в ней локальных техногенных тел. Данный процесс скорее представляет собой иерархию проявлений различного масштаба (рис. 1.1), в которой «точечные» нарушения структуры и состава земной коры, вступая во взаимодействие, образуют системы, состоящие из разнородных элементов и обладающие эмерджентностью⁴. Их возникновение обусловлено как увеличением количества участков литосферы, подвергшихся различным формам техногенеза, так и тем, что многие из них проявляют тенденцию к расширению занимаемого пространства. Закономерным является слияние подобных локальных очагов техногенеза или возникновения между ними различных видов взаимодействия. Так, вода, накопившаяся в заброшенных горных выработках и стволах шахт, может вызвать затопление размещенных на близлежащем участке действующих подземных объектов.

⁴ Эмерджентность – появление у системы свойств, не присущих ее элементам в отдельности.

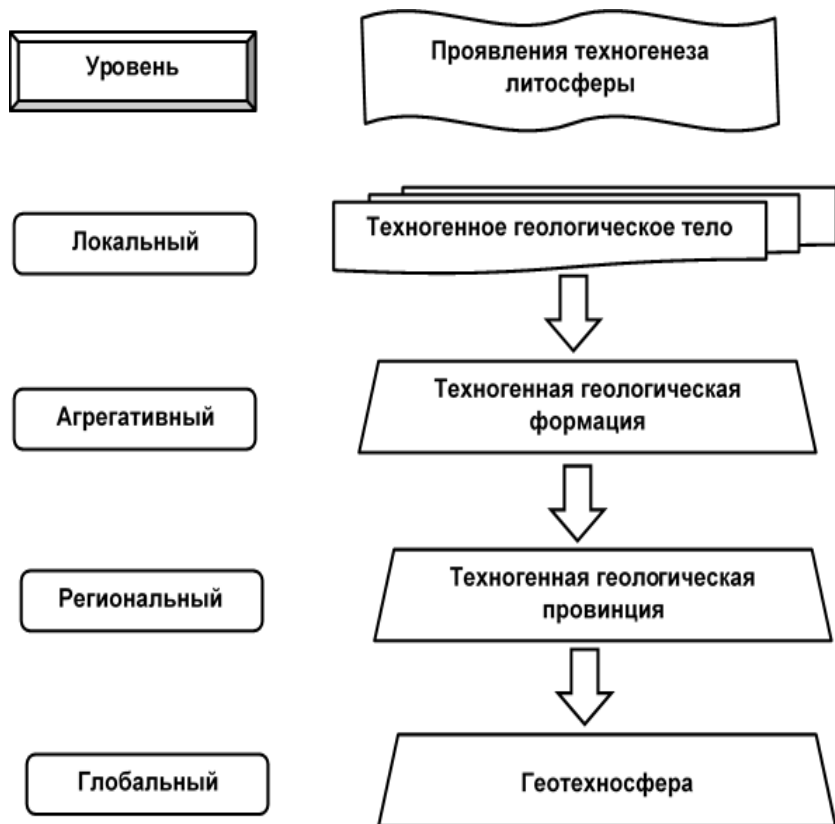


Рисунок 1.1. Уровни проявлений техногенеза литосферы

Результатом становится образование комплексов морфологически и/или функционально связанных техногенных геологических тел, получивших название *техногенных геологических формаций* (Несмеянов и др., 2009; Несмеянов, Воейкова, 2020). Данный уровень в иерархии проявлений техногенеза литосферы можно назвать агрегативным (от лат. *aggregatio* –присоединение).

Регионы, в которых процессами техногенеза охвачены значительные по своим масштабам участки литосферы можно обозначить как **техногенные геологические провинции**. Их примером могут служить многие районы нефтегазовых месторождений. Сформировавшиеся на начальном этапе их освоения локальные техногенные тела в форме пятен нефтяного загрязнения почво-грунтов, а также залегающих под ними горных пород, постепенно сливаются, образуя обширную зону нефтяного загрязнения поверхностных и подповерхностных слоев земной коры. Техногенную геологическую провинцию представляет собой земная кора в регионах развития мегалополисов (см. разд. 6.1). Она состоит из множества различных урбанизационных тел и их формаций.

Особой разновидностью подобных образований можно считать **техногенные геохимические провинции** (см. разд. 2.4.4.), образующиеся в результате распространения техногенных компонентов (химических элементов и их соединений) по обширной территории.

Следующий иерархический уровень – глобальный, представленный так называемой **геотехносферой**⁵ (Горшков, 1982). Она представляет собой всю совокупность локальных техногенных геологических тел, техногенных геологических формаций и провинций. Это результат глобального техногенеза земной коры. Слагающие геотехносферу элементы в стратиграфическом плане относятся к антропоцену.

⁵ Геотехносфера рассматривается как распространившаяся в пределах литосферы часть техносферы, т.е. оболочки планеты, трансформированной человеком в результате прямого и косвенного воздействия технических средств.

1.3. ВОСТРЕБОВАННОСТЬ, ПРЕДМЕТ ИЗУЧЕНИЯ И ЗАДАЧИ «ВТОРОЙ ГЕОЛОГИИ»

В общепринятом понимании *геология – это наука, изучающая литосферу, включающую земную кору и часть верхней мантии до астеносферного слоя* (Соколовский, 2006).

Термин «вторая геология» в настоящее время уже получил достаточно широкое распространение и даже употребляется в действующих нормативных актах⁶. Но в научной литературе он почти не используется. Возникает вопрос: существует ли необходимость развития подобной области знаний? Если – да, то в чем она состоит? Постараемся ответить на эти вопросы, опираясь на тенденции, характерные для развития современной человеческой цивилизации.

Рост народонаселения и объемов мирового производства требуют все большего количества природных ресурсов, что неизбежно связано с изменением структуры и свойств новых участков земной коры. Можно ожидать, что в не столь отдаленном будущем вторжение человека в литосферу по своим масштабам станет сравнимо с естественными процессами формирования структуры и состава земной коры. Уже на современном этапе процесс техногенеза литосферы в той или иной форме распространился на значительную часть поверхности континентов планеты. В наибольшей степени процессы техногенной трансформации земной коры проявляются на урбанизированных территориях и в районах добычи полезных ископаемых, площадь которых составляет тысячи км². Осадки, накапливающиеся на дне Мирового океана и континентальных водных объектов, включают

⁶ГОСТ 30772-2001 «Ресурсосбережение. обращение с отходами. Термины и определения», раздел «Область применения»; ГОСТ Р 53692-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов», пункт 5.10.2.

все большее количество техногенных материалов. На многих участках они уже не могут рассматриваться как природные образования. Формирующиеся на их основе осадочные породы будут включать значительное количество техногенных компонентов, т.е. могут существенно отличаться по составу и свойствам от своих естественных аналогов. В некоторых акваториях они уже сформировали хорошо выраженные слои осадков, которые можно считать антропоценовыми отложениями. Техногенными телами являются отложения большинства водохранилищ, количество которых ежегодно возрастает на несколько сотен, а площадь еще в начале XXI века достигла 600 тыс. км² (Сухоруких, 2006).

В отличие о загрязнения водной или воздушной среды техногенная трансформация земной коры пока относительно редко непосредственно сказывается на условиях существования людей и состоянии природных экосистем. По этой причине современное общество еще не проявляет должного интереса к данной проблеме. Недостаточное внимание к изучению общих закономерностей техногенеза земной коры проявляют и научные круги. Значительно большую актуальность в глазах специалистов и общественности имеют некоторые частные проблемы, например, экологические аспекты процессов переработки-обогащения полезных ископаемых, осуществляемых на земной поверхности, а также обусловленные этой деятельностью изменения ее рельефа (образование карьеров, терриконов и т.п.). То есть процессы и явления, затрагивающие сиюминутные интересы многих людей и которые они могут увидеть или непосредственно ощутить, например, при распространении загрязнителей в водную и воздушную среды.

В отличие от этого техногенные процессы, протекающие в толще земной коры, почти не оказывают прямого влияния на жизнь современного общества и, поэтому, оно мало озабочено данным вопросом. Оседания земной поверхности над горными

выработками, непосредственно затрагивающие интересы населения, события относительно редкие. Информация о связи крупных землетрясений с добычей полезных ископаемых во многих случаях преподносится скорее в форме научных гипотез, а не фактов установления неоспоримой причинно-следственной связи. Но на современном этапе характер проблем, связанных с освоением ресурсов литосферы и степень приоритетности их изучения постепенно претерпевает кардинальные изменения. Происходит это по нескольким причинам:

Во-первых, масштабы техногенной трансформации (техногенеза) литосферы достигли предела, когда последствия этой деятельности приобретают глобальный характер. В первую очередь это касается нарушения биогеохимических циклов, т.е. круговоротов химических элементов, обеспечивающих функционирование биосферы как единой системы. Дальнейшее практически неконтролируемое развитие этих тенденций может привести не только к практически необратимым экологическим последствиям, но и глобальным социально-политическим потрясениям. Наиболее известным примером нарушения биогеохимических циклов является повышение содержания углекислого газа в атмосфере, связываемое с добычей угля, нефтепродуктов и их последующим сжиганием. Данные аспекты человеческой деятельности на международном уровне признаются как основная причина происходящих глобальных климатических изменений, в результате которых в ряде густонаселенных регионов планеты возник острый дефицит пресной воды (Суздалева, Горюнова, 2018). Вместе с тем, не меньшую, а скорее даже большую реальную опасность, представляет собой уменьшение запасов фосфора в земной коре, в результате добычи сырья для производства минеральных удобрений. Близящееся их исчерпание неминуемо повлечет падение урожайности сельскохозяйственных культур и усугубление глобального продовольственного кризиса, развитие которого уже

стало причиной перманентного голода населения многих регионов и повышения социально-политической напряженности в мире (Суздалева, 2020).

Во-вторых, растущее по своим масштабам и многоплановости вторжение человеческой деятельности в литосферу все чаще вызывает изменение экологических условий на земной поверхности. Например, добыча сланцевой нефти, основанная на трансформации условий в недрах земли, в ряде районов привела к сильному загрязнению нефтепродуктами подземных вод, ресурсы которых ранее использовались в качестве источника питьевой воды. Возведение новых городских районов на участках захораниваемых скоплений промышленных отходов и свалок, которые можно рассматривать как техногенные тела, создает угрозу для здоровья проживающего в них населения из-за возможного высачивания газообразных токсичных веществ (свалочного газа, паров ртути и др.).

В-третьих, возникла востребованность разработки механизмов системного управления процессами техногенной трансформации литосферы. На современном этапе контроль за нарушением структуры земной коры осуществляется в форме отдельных мер, направленных на решение частных проблем. Главным образом это касается процессов, вызывающих опасные экзогенные процессы. К ним можно отнести действия по снижению риска образования техногенных оползней и обвалов, водной эрозии, деформации оснований объектов капитального строительства и т.п. Вместе с тем, до недавнего времени априорно полагалось, что в отличие от других частей природной среды доступные для добычи полезных ископаемых слои литосферы, так называемые «недра» можно использовать, но управлять сопутствующими этой деятельности процессами нет необходимости. Проблеме контроля за развитием явлений, обусловленных техногенной трансформацией глубинных слоев литосферы, внимание уделялось лишь в тех случаях, когда эти

процессы создавали угрозу для эксплуатации подземных выработок и добычных скважин. В этом заключалось принципиальное отличие геологических ресурсов от других их категорий – водных, почвенных, биологических и даже, как бы непривычно это не звучало, ресурсов атмосферы. Так, попытки воспрепятствовать развитию парникового эффекта или разрушению озонового слоя, заключающиеся в разработке методов управления составом и структурой атмосферы как единого целого, в современном мире уже воспринимаются как меры по сохранению благоприятного состояния окружающей среды и ее улучшению. Мысль о необходимости аналогичного системного управления техногенными процессами, протекающими в литосфере, представляется почти абсурдной. Вместе с тем, от процессов, происходящих в ее толще, условия на поверхности планеты, где существует человек и другие биологические объекты, зависит не в меньшей степени. Но постепенно взгляд на данную проблему претерпевает принципиальные изменения. В последние годы в научной литературе все чаще стал подниматься вопрос о негативном воздействии на литосферу (Милетенко, Рульков, 2009; Трубецкой, Милетенко, 2013; Митишова, Милетенко, 2015). Но в большинстве случаев исследование проблемы ее техногенеза ограничивается анализом какого-то одного из направлений человеческой деятельности, например, добычей сланцевой нефти. Но техногенез литосферы в настоящее время носит многоплановый характер и обусловлен весьма широким спектром различных процессов. Их последствия все большей степени приобретают синергетический характер, а иерархический уровень проявлений закономерно повышается. Темпы формирования геотехносферы постоянно ускоряются, а область ее распространения стремительно увеличивается. Это требует системно подхода к изучению наблюдающихся в данной сфере процессов и явлений, познания общих закономерностей их развития.

В перспективе человечество может ликвидировать все ненужные и, тем более, опасные техногенные тела и, одновременно, научиться создавать новые, обладающие той или иной ценностью. Примером может служить геозоэкологически обоснованное⁷ возведение искусственных земельных участков и островов, позволяющее отчасти решить местные демографические проблемы, но не приводящее к деградации морских экосистем в этом регионе (Суздалева, 2020а). Но успешная реализация таких проектов возможна лишь при условии создания серьезной научной базы, на которую могли бы опираться их разработчики.

Таким образом, непрерывный рост масштабов и значимости последствий процесса техногенной трансформации литосферы, а также настоятельная необходимость его систематического изучения обуславливает востребованность развития новой научной дисциплины – «второй геологии», как науки о техногенных телах литосферы и формируемых в процессе их взаимодействия техногенных геологических образований более высокого иерархического уровня. Подобное название хорошо отражает суть ее предмета и задач. С одной стороны, существующие в составе литосферы техногенные тела представляют собой участки земной коры и, следовательно, наука, изучающая их относится к категории геологических. С другой стороны, техногенные тела, следует рассматривать как вторичные, являющиеся результатом трансформации естественных участков земной коры. Таким образом, прилагательное «вторая» отражает не второстепенность данной науки, а характер предмета исследования. Специфика техногенных тел, методов их изучения, а также возможных путей использования и, в случае необходимости, способов их ликвидации

⁷ Под геозоэкологическим обоснованием в данном случае подразумевается предварительная комплексная оценка сопутствующих этой деятельности негативных и позитивных изменений окружающей среды, на основании которой делается вывод о целесообразности предпринимаемых действий.

(преобразования) позволяет отделить «вторую геологию» от всех других геологических наук, которые с этой точки зрения в совокупности можно условно рассматривать как «первую геологию». Вместе с тем, образование техногенных тел происходит в земной коре и эти тела способны влиять на ее общее состояние. По этой причине предметы изучения геологии и «второй геологии» тесно соприкасаются.

Обсуждая предмет второй геологии, следует вспомнить, что в некоторых источниках, в т.ч. в цитированных ранее ГОСТах в качестве такого указывается организация разработки техногенных месторождений полезных ископаемых. При подобной трактовке это сугубо прикладное направление, основными задачами которой являются регистрация техногенных тел, имеющих в своем составе какие-то полезные компоненты, оценка запасов и целесообразности добычи этих компонентов, а также обоснование способа разработки подобных техногенных месторождений. Очевидно, что лишь отдельный вопрос в обширном комплексе проблем, связанных с образованием и существованием техногенных тел. Принимая подобную предельно суженную точку зрения, мы упускаем из вида ряд процессов и явлений, настоятельно требующих своего научного осмысления. Необходимость их изучения уже породила несколько научных дисциплин, таких как «минералогия техногенных образований» (Язиков и др., 2016), «геохимия техногенных систем» (Бортникова и др., 2006), «экологическая геофизика» (Вахромеев, 1995), «урбанистическая геология» (Осипов и др., 2017).

Следовательно, разработка методов освоения техногенных месторождений является не предметом «второй геологии», а одним из направлений практического использования научных достижений в данной области. Адекватное представление о техногенной трансформации литосферы может дать только комплексное

исследование всех аспектов данного процесса, основанное на едином концептуально-методологическом подходе.

Процесс техногенной трансформации литосферы обуславливает не только настоятельную необходимость его систематического научного исследования, но и решения комплекса, обусловленных его развитием прикладных задач, в т.ч. в разработке мер по предотвращению нежелательных, а нередко опасных изменений состояния земной коры. Поэтому, вторая геология развивается не только как научная дисциплина, но и как область научно-практической деятельности (рис. 1.2). В подобном широком понимании **вторая геология** – это наука, изучающая техногенные тела как один элементов литосферы, их структуру, процессы образования, взаимодействия (агрегации) и трансформации, а также создающая научные основы для решения практических проблем, обусловленных различными аспектами техногенеза земной коры (Суздалева, 2020б).

Образование техногенных тел нередко затрагивает важные экологические проблемы. Учитывая, что эти процессы уже охватили значительную часть поверхности планеты, «вторую геологию» с этой точки зрения можно рассматривать область науки смежную с **экологической глобалистикой**, одной из основных задач которой является оценка и прогноз глобальных экологических последствий использования ресурсов Земли, разработка мер по недопущению их истощения (Суздалева, 2019а; 2020в).

Вместе с тем, следует указать на принципиальное отличие предмета «второй геологии» от предметов изучения ряда смежных научных дисциплин, в т.ч. таких как *геоэкология*, *экологическая геология* и *геология окружающей среды*, *техническая геология*. Термин *геоэкология* был предложен в 1939 г. немецким ученым К. Троллем, в качестве замены ранее им же использовавшегося понятия *ландшафтная экология* (Тролл, 1972).



Рисунок 1.2. Вторая геология как наука и как область научно-практической деятельности

Подобная трактовка, согласно которой предметом геоэкологии является ландшафт и более крупные структуры, объединяющие различные ландшафты (вплоть до планетарного уровня), распространена и в настоящее время (Тимашев, 2011). Но существуют и иные, нередко существенно различающиеся точки зрения (Бочаров, 2004). Например, считается, что геоэкология является междисциплинарной наукой, изучающей влияние всех абиотических сфер на живое (Осипов, 1993; Трофимов, 2008; Лавруевич и др., 2020). Ее основой должно стать объединение исследований в области геологии, географии и экологии при изучении процессов формирования окружающей среды.

Несмотря на принципиальные расхождения, взгляды большинства специалистов объединяет то, что в отличие от классической экологии, предметом которой являются биологические объекты, в связи с чем она нередко обозначается как

биоэкология, основное внимание в геоэкологических исследованиях акцентируется на «неживых элементах» среды существования организмов (абиотических составляющих экосистем, ландшафтов, геосфер).

Наиболее употребительное в настоящее время определение экологической геологии дано в работе В.Т. Трофимова и Д. Г. Зилинга (2002), рассматривающие ее как научную дисциплину, предметом которой является исследование литосферы как среды обитания биоты. Данная формулировка требует некоторого уточнения. За исключением некоторых специфических групп микроорганизмов в толще горных пород биологические объекты существовать не могут. Вместе с тем, структура литосферы и геологические процессы – это значимый фактор формирования среды обитания многих организмов, живущих за ее пределами (на поверхности суши, в водных объектах). В свою очередь жизнедеятельность биоты оказывала в прошедшие эпохи и оказывает сейчас значимое влияние на формирование литосферы (например, на интенсивность процессов осадкообразования и эрозии). Поэтому, в качестве предмета изучения экологической геологии можно рассматривать закономерности взаимодействия геологических и экологических процессов. Некоторые авторы рассматривают экологическую геологию как составную часть геоэкологии (Трофимов, 2008; Куриленко, Хайкович, 2012).

Термин, *геология окружающей среды* (environmental geology) употребляется, главным образом, зарубежными специалистами. Смысл, вкладываемый в него отдельными авторами, существенно различается, а спектр изучаемых проблем чрезвычайно широк (Сергеев, 1982; Ваганов, 2005). Так, в сферу предметов, изучаемых этой научной дисциплиной, одновременно включаются естественные геологические процессы, которые воздействуют на экосистемы и людей или угрожают им (например, извержения вулканов) и экологические проблемы, связанные с добычей

полезных ископаемых. В широком смысле, обобщающем мнения различных специалистов, под геологией окружающей среды можно понимать науку, использующую различные геологические знания для решения экологических проблем (Трофимов, 2008).

Таким образом, основной предмет геозологии, экологической геологии и геология окружающей среды – это свойства (функции) земной коры или, в более широком понимании – всех земных оболочек – геосфер, как среды существования человека и других живых организмов, а главная задача – поиск способ сохранения и улучшения этих свойств. Для «второй геологии» данный вопрос, несомненно, представляет, важную, но «сопутствующую» проблему. Основным предметом ее изучения являются техногенные геологические тела (рис. 1.3). Они расположены в одной из геосферных оболочек – литосфере и оказывают влияние на экосистемы различного уровня. Но рассматриваются как отдельная категория образований, входящих в состав литосферы.

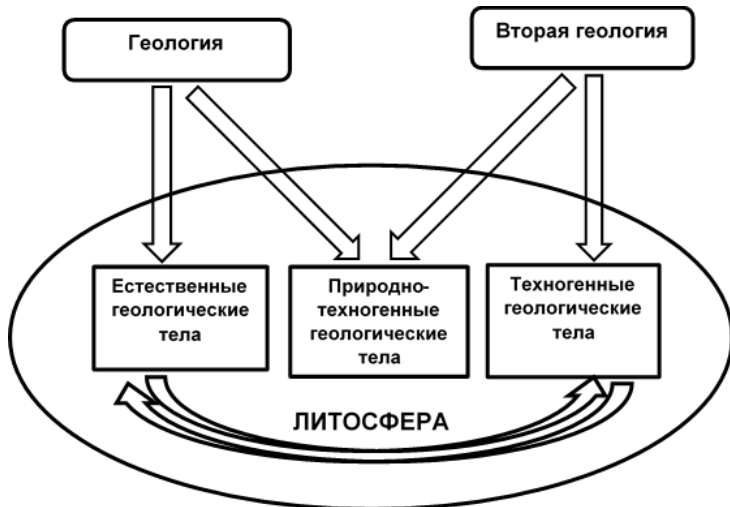


Рисунок 1.3. Взаимосвязь предметов изучения геологии и второй геологии

Известный советский геолог академик А.В. Сидоренко (1967) предложил создать отдельную научную науку, изучающую влияние человека на земную кору, назвав ее технической геологией. Но в дальнейшем эта идея не получила широкого распространения. Следует отметить, что термин «техническая геология» употреблялся задолго до этого в трудах И.А. Штини и Д.И. Мушкетова (Штини, Мушкетов, 1925; Мушкетов, Штини, 1934), но в другом значении, как междисциплинарное научное направление, основной задачей которого являлось привлечение результатов геологических исследований к решению инженерно-технических проблем.

Известный советский геолог академик А.В. Сидоренко (1967) предложил создать отдельную научную науку, изучающую влияние человека на земную кору, назвав ее технической геологией. Но в дальнейшем эта идея не получила широкого распространения. Следует отметить, что термин «техническая геология» употреблялся задолго до этого в трудах И.А. Штини и Д.И. Мушкетова (Штини, Мушкетов, 1925; Мушкетов, Штини, 1934), но в другом значении, как междисциплинарное научное направление, основной задачей которого являлось привлечение результатов геологических исследований к решению инженерно-технических проблем.

«Вторая геология» изучает закономерности техногенеза литосферы, как совокупности процессов перерождения естественных геологических тел в техногенные и формирования новых техногенных тел из вводимых человеком в литосферу аллохтонных материалов (отходов и др.). Таким образом спектр проблем, решение которых лежит в сфере «второй геологии», весьма широк. Основными из них являются:

- познание закономерностей процессов формирования, взаимодействия (агрегации) и трансформации техногенных тел в составе литосферы;

- регистрация и описание существующих техногенных тел, в т.ч. исторических⁸;

- прогноз образования новых техногенных тел, в т.ч. в труднодоступных участках, включая глубинные слои литосферы и отложения в глубинах Мирового океана;

- разведка техногенных месторождений, определение запасов, содержащихся в них ценных компонентов и разработка экологически безопасных способов их извлечения;

- разработка механизмов управления техногенными телами, включающая как меры по предупреждению и снижению их негативного воздействия на окружающую среду;

- создание научных основ для целенаправленного формирования техногенных тел и их использования для комплексного решения экологических, экономических и социально-политических проблем.

1.4. ВОЗНИКНОВЕНИЕ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ТЕЛ

Возникновение техногенных тел происходит как путем их **целенаправленного формирования**, так и в результате **образования в качестве побочного эффекта деятельности** (рис. 1.4). При целенаправленном формировании человеком преследуется цель – создать техногенное тело, как скопление или структурированный массив каких-то веществ. В большинстве случаев это отходы, от которых хотят избавиться, откладывая их на определенном участке земной поверхности или в толще горных пород. Этот процесс не всегда желателен и допустим с правой точки зрения. Например, это организация несанкционированных свалок. В качестве целенаправленно сформированных техногенных тел можно рассматривать и различные искусственные образования, размещаемые человеком в земной коре.

⁸Тела, образовавшиеся в результате деятельности человека в предшествующие исторические эпохи.



Рисунок 1.4. Процессы возникновения техногенных геологических тел

К ним, например, можно отнести укрепленные (искусственные) основания крупномасштабных объектов капитального строительства. В данном случае четкой границы между техногенным телом и сооружением не существует. Отнесение продукта целенаправленного техногенеза земной коры к какой-либо из этих категорий определяется субъективно. С точки зрения инженера-строителя искусственное основание для фундамента возводимой постройки – это сооружение, а с точки зрения специалиста,

занимающегося исследованием техногенеза литосферы – это тело (структура) в составе земной коры, образовавшаяся при строительстве объекта.

Образование техногенного тела в литосфере как побочного эффекта деятельности – это сопутствующее данной деятельности изменение участка земной коры, не преследовавшее каких-либо практических целей. Существует две основных разновидности подобных процессов. Во-первых, возникновение техногенных тел как побочного эффекта происходит при трансформации недр, окружающих их участки, использовавшиеся в тех или иных целях. Так, при подземных испытаниях ядерного оружия, вокруг шахты, в которой осуществлялся взрыв, образуется участок геологической среды, обладающий уже иными свойствами.

Во-вторых, образование подобных техногенных тел является результатом неконтролируемого проникновения в литосферу различных загрязнителей. Так, в настоящее время в ряде районов РФ в результате утечек нефтепродуктов, происходивших с различных объектов в течение многих лет, произошло загрязнение ими не только почвогрунтов, но и подстилающих их горных пород (Зайцева и др., 2007; Галицкая, Позднякова, 2011). Отмечается изменение значительных участков геологической среды и условий недропользования. Например, подземные воды в этих районах становятся непригодными для использования в качестве источников питьевого водоснабжения.

Хозяйствующие субъекты, побочные аспекты деятельности которых приводят к образованию техногенных тел, нередко не осознают в полной мере последствия своих действий, в частности, их экологическую опасность. Так, сбрасывая загрязненные стоки руководство предприятия, как правило, не задумывается о том, что их компоненты могут аккумулироваться в донных отложениях удаленной от их объекта части речного бассейна. Причем подобные процессы могут происходить и в тех случаях, когда содержание

загрязнителей в этих стоках не превышает допустимого уровня, установленного действующими нормативами.

Граница между целенаправленным формированием техногенных тел и их образованием как побочного продукта также весьма условна. Например, одна категория процессов переходит в другую после установления причинно-следственной связи между определенной деятельностью и образованием техногенного тела, а также распространения этой информации. Заранее спрогнозированный побочный эффект, вызвавший изменение свойств участка земной коры, может с уже достаточным основанием рассматриваться как целенаправленное изменение недр. Примером являются все случаи, когда загрязнение литосферы в процессе какой-то деятельности осуществляется с осознанием данного факта.

Принимая во внимание изложенное выше, можно выделить следующие основные механизмы образования техногенных тел:

1. Управляемое формирование техногенных тел – представляет собой производственный процесс размещения в окружающей среде отходов или иных побочных продуктов человеческой деятельности⁹ по определенному графику, в специально подготовленном для этого участке. Структура и состав таких тел заранее определены. Во многих случаях для осуществления этой деятельности требуется возведение специальных сооружений и создание инфраструктуры по их обслуживанию. Примером могут служить разделенные на последовательно заполняемые секции хранилища отходов современных горнодобывающих предприятий.

2. Контролируемое формирование техногенных тел, к которому относятся все случаи возникновения масштабных искусственных скоплений вещества, на участках с установленными границами. При образовании подобных тел соблюдается ряд правил, но их состав и структура могут существенно варьировать. При этом, в одних

⁹ Например, грунтов, перемещаемых при вертикальной планировке территории (см. разд. 6.3).

случаях (например, на полигонах захоронения твердых бытовых отходов (ТБО)), требуется сооружение специальных барьеров, препятствующих распространению в среде загрязнителей. В других случаях, (например, при засыпке строительным мусором котлованов или выработанных карьеров) подобное требование может не выдвигаться.

3. Несанкционированное формирование техногенных тел, т.е. их целенаправленное создание без соблюдения каких-либо правил. Как правило, это происходит в результате противозаконных действий большой группы физических лиц, а также организаций. Примером, являются так называемые «неорганизованные свалки», т.е. самовольное размещение хозяйственно-бытовых и промышленных отходов вокруг населенных пунктов или вдоль транспортных коммуникаций.

4. Образование техногенных тел как побочного эффекта при добыче полезных ископаемых и строительстве (эксплуатации) подземных сооружений (коммуникаций). Так, в нефтегазодобывающей отрасли широко практикуются гидроразрывы, закачка в пласты горных пород различных флюидов. При подземных способах добычи полезных происходит образовании пустот, обводнение и изменение их структуры породных массивов. В результате подобной трансформации естественных массивов горных пород происходит образование техногенного тела, обладающего иными свойствами.

При строительстве и эксплуатации подземных сооружений (коммуникаций) нарушается сплошность породных массивов, происходит попадание в них различных жидкостей, внедрение (отсыпка) в подземную среду инородных материалов (иногда – отходов), просачивание вод с земной поверхности. Это также приводит к образованию техногенных тел.

5. Возникновение техногенных тел в результате спонтанной аккумуляции или депонирования продуктов человеческой

деятельности. Под аккумуляцией в данном случае понимается процесс образования техногенного тела путем накопления продуктов человеческой деятельности, происходящий без участия в нем людей. Примером может служить аккумуляция агентов химического загрязнения и взвесей промышленного происхождения в подводных впадинах или в форме отложений на участках застойных зон водных объектов. В отличие от этого депонирование – это включение (поглощение) техногенных компонентов первоначально естественными телами. Например, это естественные донные отложения озера, постепенно накапливающие в себе агенты загрязнения и засорения. В результате их свойства изменяются, но в отличие от техногенных тел, образовавшихся в результате аккумуляции, в их составе в значительном количестве присутствуют и вещества естественного происхождения.

Техногенные тела в большинстве случаев характеризуются меньшей механической прочностью и более высокой степенью химической мобильности, чем естественные (Dijkstra et al., 2019). В течение относительно короткого времени может произойти существенное изменение их структуры и состава техногенного тела или его отдельных частей (например, выходящих на земную поверхность или подверженных обводнению). Эти явления включают совокупность разнородных процессов, среди которых можно выделить механическую, физическую, химическую и биологическую трансформацию.

Процессы **механической трансформации** заключаются в изменении формы (границ) залегания техногенных тел, а также их текстуры. Это может происходить вследствие естественных процессов перемещения их массы под действием гравитационных сил (обвалов, оползней) или суффозии, а также при целенаправленном изменении рельефа. Так, строительство новых районов городов, нередко происходит на участках, окружавших их ранее свалок. В ходе этой деятельности осуществляется рытье

котлованов, а также выравнивание поверхности, сопровождающееся запечатыванием, перемещением массы исторических техногенных тел, а также отсыпки над ними слоя грунта. В результате эти тела из категории поверхностных переходят в категории запечатанных и подповерхностных (захороненных).

Физическая трансформация техногенных тел включает изменение их температурного режима, плотности и влагосодержания (фазового состояния). Эти процессы также могут происходить как самопроизвольно, так при участии человека. Так плотность техногенных тел, формирующихся из твердых бытовых отходов, может увеличиться в результате их слеживания. Изменение теплового режима, способное повлечь нежелательные экологические последствия возникает при прокладке городских теплотрасс в толще захороненных техногенных тел (Суздалева, Левашова, 2018). При подтоплении или временном затоплении территории твердые тела могут трансформироваться в полифазные. В условиях, способствующих уходу несвязанной воды и дегазации возможен обратный процесс.

Химическая трансформация техногенных тел – это процессы, изменяющие состав слагающих их веществ. Они могут быть обусловлены как внутренними, так и внешними факторами. В первом случае, данный процесс обусловлен химическими реакциями, между компонентами техногенного тела, в результате чего в нем образуются новые вещества. В отличие от компонентов, слагавших техногенное тело в период его образования (первичных минералов или первичных фаз), для их обозначения используются термины «вторичные минералы (вторичные фазы)» (Giere et al., 2003; Бортникова и др., 2006). Эти вещества нередко более токсичны или значительно быстрее распространяются в окружающей среде. Примером является метилртуть, образующаяся при соединении ртути с органическими веществами (Кузубова и др., 2000). Образование этого высокотоксичного соединения может

происходить в телах городских свалок при попадании в них, например, старых ртутных ламп или иных отходов, содержащих ртуть, пусть даже в небольших количествах. Затем с поверхностными стоками или через грунтовые воды метилртуть может попасть в поверхностные водные объекты.

Химическая трансформация происходит также при проникновении в техногенные тела различных веществ или воздействии каких-либо иных внешних факторов. Например, это окисление различных веществ при контакте техногенных с атмосферой или проникновения в них воды, содержащей растворенный кислород. Продукты окисления также нередко представляют большую опасность, чем вещества, из которых они образовались. Так, в техногенных телах, сформировавшихся из отходов бурения на территории Тюменского нефтегазового месторождения, в течение длительного периода происходило окисление содержащихся в них ароматических углеводов до фенолов (Московченко, 1998). Эти вещества хорошо растворяются в воде и значительно более опасны для здоровья людей, чем нефтепродукты, из которых они образовались.

Процессы окисления могут протекать весьма интенсивно с выделением большого количества тепла, что способствует их ускорению и распространению. Так, на территории угледобывающих предприятий иногда наблюдается самовозгорание шахтных терриконов – конусообразных отвалов высотой до 60-80 м (Макаров, 2000). Обычно это происходит в форме тления, которое может длиться 10 лет и сопровождаться обильным выделением в атмосферу газообразных продуктов. Но сильный ветер способен раздуть очаги тления до появления открытого пламени. Их температура в такие периоды повышается до 1000°C. Материал терриконов спекается в пласты.

Другим примером химической трансформации под воздействием внешних факторов является изменение состава техногенных

образований в результате просачивания в них с поверхности нефтепродуктов и других загрязнителей. В результате возникают такие виды городских почво-грунтов как «нефтеземы» и «интруземы», которые можно рассматривать как техногенные геологические структуры.

Как уже указывалось ранее, некоторые техногенные тела обладают способностью депонировать вещества, поступающие извне. В результате возникают так называемые «**искусственные геохимические барьеры**» (Перельман, 1977). Подобные образования, с одной стороны, могут препятствовать распространению загрязнителей. Например, отложения многих современных водохранилищ задерживают основную массу тяжелых металлов, распространяющихся по водным системам (Эдельштейн, 1998), что в целом можно рассматривать как позитивное явление (Суздалева, Горюнова, 2014). С другой стороны, возрастающее значение искусственных геохимических барьеров вызывает нарушение исторически сложившейся системы планетарных круговоротов вещества – биогеохимических циклов.

Процессы физической и химической трансформации техногенных тел могут быть неразрывно связаны. Например, при горении отвалов угольных шахт одновременно происходит изменение как химического состава, так физических характеристик материала этих тел (Чесноков, 2001; Потапов, Максимович, 2006), т.е. их **физико-химическая трансформация**.

Биологическая трансформация заключается в изменении химического состава и текстуры техногенных тел, главным образом, в результате жизнедеятельности микроорганизмов (различных групп бактерий и грибов). В их поверхностных слоях существенную роль в этих процессах также может играть выделения корневой системы высших растений (Бортникова и др., 2006).

В соответствии с классификацией В.И. Вернадского техногенные геологические тела, подвергшиеся биологической трансформации, можно рассматривать как разновидность биокосных тел. Биологической трансформации подвергаются, не только органические соединения. Так, хемолитотрофные бактерии, существующие в горнорудных отвалах, способны трансформировать соединения некоторых тяжелых металлов (Kelley, Tuoven, 1988).

Процессы биологической трансформации могут происходить спонтанно, как например, разложение органических веществ, содержащихся в твердых бытовых отходах (ТБО), сопровождающееся выбросом в атмосферу, так называемого «свалочного газа», а также просачиванием в подстилающие породы и сбросом в водные объекты (стоком по рельефу) жидких и легкорастворимых продуктов разложения. Но биологическая трансформация техногенных образований может осуществляться и целенаправленно. Так, существуют технологии извлечения из техногенных тел ценных компонентов путем внесения в них определенных групп бактерий и создания условий для их интенсивного развития (Сартакова, 2009).

1.5. ВИДЫ ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ (СТРУКТУР)

Выделение отдельных категорий техногенных (антропогенных) образований, включенных в структуры земной коры, в той или иной форме осуществлялось рядом исследователей XX века (Саваренский, 1937; Дранников, 1959; Абелев, Крутов, 1962). Кроме этого были разработаны многочисленные классификации техногенных грунтов (Сергеев, 1952; Хазанов, 1975; Афонин и др., 1990; Терентьева, Суханов, 1998; Ананьев, Потапов, 2002; Султанова и др., 2004; Огородникова, Николаева, 2004; Шишов и др., 2004; Ковалева и др., 2012). Однако их нельзя рассматривать как

полноценные классификации техногенных тел, охватывающие все основные категории. А также существуют классификации процессов, происходящих в земной коре под воздействием человеческой деятельности (Сергеев, 1978; Палиенко, 1978; Котлов, 1977; 1978; Горшков, 1982), в которых техногенные тела (антропогенные образования или антропогенные отложения) рассматриваются как побочный результат этих явлений. Наиболее подробная классификация была разработана Ф.В. Котловым (1977), обозначавшим эти образования как **антропогенные отложения**, а процесс их формирования как **антропогенный литогенез**. По условиям возникновения Ф.В. Котловым было выделено три основные группы: субаэральные (наземные), субаквальные (подводные) и субterrальные (подземные) антропогенные отложения, которые подразделялись на семь генетических комплексов: 1) насыпные; 2) намывные; 3) отложения искусственных водоемов; 4) искусственные подводные грунты, 5) измененные водные осадки естественных водоемов; 6) грунты, искусственно преобразованные в естественном залегании; 7) привнесенные в грунты материалы и конструкции и стихийное накопление подземного культурного слоя.

Впоследствии Ф.И. Тютюновой с соавт. (1988) было предложено выделить два основных направления процесса **техногенного литогенеза**¹⁰:

- прогрессивный техногенный литогенез, результатом которого является литификация (окаменение) рыхлых отложений, возникших в результате человеческой деятельности;

- регрессивный техногенный литогенез, заключающийся в избыточном увлажнении грунтов и горных пород, вызывающим их

¹⁰ В этой работе указывается, что термин «техногенный литогенез» по своему содержанию соответствует антропогенному литогенезу Ф.В. Котлова (1977).

разуплотнение, снижение прочностных свойств и вымывание водорастворимых компонентов.

Другая классификация техногенных образований в составе литосферы, была предложена А.А. Каздымом (2007). В ее основу был положены источники и механизм их формирования. Для обозначения отдельных категорий использовался термин ***техногенные фации***, в качестве которых выделялись:

- геотехногенные и гидрогеотехногенные фации, к которым относится весьма обширная совокупность разнородных объектов: отвалы шахт и искусственные водоемы на месте добычи полезных ископаемых, а также искусственные гидротехнические сооружения, к которым автор причисляет водохранилища;

- *террафации* и *итэрфации* (от латинского «terra» – земля, «iter» – дорога), включающие дорожные и прочие искусственные насыпи, польдеры, искусственные земли (техноземы и др.), а также сооружения, возведенные как на уровне земной поверхности, так под ней;

- *агрофации*, к которым относятся почвы и грунты, трансформированные в процессе их сельскохозяйственного освоения;

- *мртуусфации*, (от латинского «mortuus» – мертвый), включающие ритуальные сооружения: курганы, могильники, захоронения, некрополи, менгиры, дольмены и др.;

- *кэнуmfации*, (от латинского «саenum» – грязь, нечистоты), т.е. свалки, полигоны ТБО, скотомогильники, отстойники и др. скопления хозяйственно-бытовых отходов;

- *урбофации* – культурный слой человеческих поселений и продукты его трансформации, возникающие в ходе природных и техногенных процессов;

- *спелеофации* – подземные сооружения различного назначения (ритуального, бытового, военного, промышленного и т. д.), в число которых включаются шахты, штольни и бункеры.

Рассмотренные выше классификации обладают двумя существенными недостатками. Во-первых, в них в одну категорию часто включаются образования различного генезиса и состава. Так, крупномасштабные скопления переработанных материалов земной коры, сформированные насыпным и намывным способом, включают широкий спектр различных тел, например, терриконы угольных шахт и искусственные земельные участки. Аналогичное суждение можно высказать и относительно включения в одну категорию «террафации» насыпей эксплуатируемых сооружений, которые не могут рассматриваться как элементы литосферы. Таковыми не являются и расположенные на земной поверхности мегалитические сооружения типа дольменов и менгиров. Во-вторых, ни одна из этих классификаций в должной мере не отражает всего многообразия техногенных тел, механизмов их образования и трансформации. В них не предусмотрены многие процессы и явления, специфика и практическая значимость которых требует выделения их в отдельную категорию. Примерами могут служить геологические тела, возникающие при сооружении искусственных земельных участков или техногенез обширных участков недр, вызванный фрекинговыми технологиями добычи углеводородного сырья.

Процессы образования, динамики, трансформации и взаимодействия техногенных геологических тел, нося весьма многоплановый характер, определяются обширным комплексом разнородных факторов. По этим причинам для всестороннего анализа процессов техногенеза литосферы представляется целесообразным выделение отдельных категорий техногенных тел (структур) не по одному признаку, а по комплексу классификационных критериев (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Классификация техногенных геологических тел

Классификационный критерий	Виды геологических техногенных тел (структур)	Примеры (в скобках указаны разделы монографии, в которых они описаны)
Происхождение	Организованные	Хвостохранилища и шламоохранилища (3.1)
	Спонтанные	Несанкционированные свалки (5.2)
	Смешанного происхождения	Частично контролируемые свалки (5.2)
Механизм образования	Побочно-продуктовые (отходосодержащие)	Горные отвалы (3.3)
	Аккумулятивные	Техногенные геохимические барьеры (2.4.3)
	Седиментационные	Седиментационные техногенные тела (7.6)
	Вторичные	Засыпка котлованов на городских территориях (6.2)
	Сопряженные	Петролеумные техногенные тела (3.4)
	Реструктурированные	Искусственные источники сейсмичности (2.3.2)
	Фрекинговые	Глубинные техногенные тела в районах добычи сланцевой нефти (4.3)
	Термотехногенные	Термотехногенные тела (2.5.2)
	Криотехногенные	Многолетнемерзлые породы в шахтах (4.6)
	Литофицированные	Литофицированные структуры (6.4)
Дефростационные	Термопросадочные тела (6.9)	

Продолжение таблицы 1.1.

Классификационный критерий	Виды геологических техногенных тел (структур)	Примеры (в скобках указаны разделы монографии, в которых они описаны)
Устойчивость	Стабильные	Техногенные тела из отходов градостроительной деятельности (5.5).
	Трансформирующиеся	Нефтепромысловые техногенные тела (3.4)
	Деградирующие	Свободные искусственные пляжи (7.4)
Размещение	Поверхностные	Горные отвалы и терриконы (3.3)
	Запечатанные	Экраноземы (6.2)
	Подповерхностные (захороненные)	Захороненные городские свалки (5.2)
	Глубинные (подземные)	Подземные хранилища нефтяных отходов (3.4)
	Стволовые	Стволовые техногенные геологические тела (4.1)
	Подводные	Дреджинговые тела (7.5)
	Прибрежные	Искусственные земельные участки (7.2)
	Островные	Искусственные острова (7.2)
Динамика	Пополняемые	Хвостохранилища на активной стадии (3.1)
	Законсервированные	Пункты захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) (5.3)
	Исторические	Отвалы древних горных выработок (3.1)

Продолжение таблицы 1.1.

Классификационный критерий	Виды геологических техногенных тел (структур)	Примеры (в скобках указаны разделы монографии, в которых они описаны)
Источники возникновения	Горнопромышленные	Горнопромышленные техногенные тела (3.1-3.3)
	Нефтепромысловые	Нефтепромысловые техногенные тела (3.4)
	Промышленные	Свалки промышленных предприятий (5.3)
	Градостроительные	Техногенные тела из отходов сноса реконструкции зданий (5.5)
	Урбанизационные	Урбаноземы (6.2)
	Селитебные	Культурный слой (6.7)
	Руинизированные	Заброшенные волноломы (7.4)
	Агропромышленные (биотехногенные)	Агропромышленные техногенные тела (6.9)
	Хозяйственно-бытовые	Городские свалки хозяйственно-бытовых отходов (5.2)
	Военные	Ядерновзрывные геологические тела (4.7)
Возможность хозяйственного освоения	Техногенные месторождения	Техногенные месторождения (8.1)
	Потенциальные техногенные месторождения	Потенциальные техногенные месторождения (8.1)

Продолжение таблицы 1.1.

Классификационный критерий	Виды геологических техногенных тел (структур)	Примеры (в скобках указаны разделы монографии, в которых они описаны)
Возможность хозяйственного освоения	Техногенные накопления вторичных ресурсов	Техногенные накопления вторичных ресурсов (8.1)
Структура	Гомогенные	Намывные техноземы
	Равномерно-гетерогенные	Смешанные промышленные свалки (5.3).
	Гетерогенно-агрегированные	Скотомогильники (6.9)
	Гетерогенно-стратифицированные	Буферные засыпки хранилищ радиоактивных отходов (2.5.2)
	Гетерогенно-зональные	Намывные хвостохранилища (3.2)
Пространственное распределение объема	Целостные	Полигоны твердых коммунальных отходов (5.2)
	Комплексное	Комплекс хвостохранилищ, терриконов, нефтешламовых амбаров (3.2-3.4)
	Фрагментарные	Овражно-склоновые городские свалки (5.2)

Окончание таблицы 1.1.

Классификационный критерий	Виды геологических техногенных тел (структур)	Примеры (в скобках указаны разделы монографии, в которых они описаны)
Фазовое состояние	Твердые	Техногенные тела, создаваемые при цементации оснований фундаментов (6.4)
	Жидкие	Техногенные криопэги (6.10)
	Газообразные	Глубинные хранилища газа в пластах каменной соли (4.5)
	Двухфазные	Намывные хвостохранилища (3.2)
	Полифазные	Захороненные навозохранилища (6.9)
Источник опасности для жизни и здоровья людей	Радиационно опасные	Несанкционированные захоронения радиоактивных отходов (2.5.3)
	Химически опасные	Поллютоземы (6.2)
	Геодинамически опасные	Крупномасштабные скопления твердых бытовых отходов с крутыми склонами (2.3.3)

По происхождению техногенные геологические тела (структуры)¹¹ можно разделить на **организованные**,

¹¹ При дальнейшем описании классифицируемых категорий термин «техногенная геологическая структура» опускается, но все указанные виды

целенаправленно формирующиеся с определенной целью и **спонтанные**, возникшие самопроизвольно, главным образом, в результате желая значительного количества физических и юридических лиц самостоятельно без дополнительных затрат избавиться от отходов. В отдельную категорию можно выделить техногенные тела **смешанного происхождения**. Они могут, например, возникнуть при утрате контроля за местами хранения, твердых бытовых отходов, когда одновременно с их регламентированным накоплением происходит самовольный неконтролируемый вывоз на эти же площадки различных материалов, в т.ч. и опасных.

В основу классификации техногенных геологических тел можно также положить **механизм их формирования**. Например, некоторые из них возникают в результате целенаправленного или спонтанного накопления в процессе человеческой деятельности массивов побочных продуктов его деятельности (отходов, пустой породы и др.), в связи с чем их можно обозначить как **побочно-продуктовые** (отходосодержащие) тела.

Аккумулятивные тела возникают вследствие самопроизвольного (без участия человека) накопления в земной коре техногенных материалов. В качестве их отдельной категории можно выделить **барьерно-аккумулятивные** геологические тела, образующиеся на естественных (например, во впадинах рельефа) или специально создаваемых барьерах, задерживающих вещества, в результате чего происходит их накопление.

Седиментационные тела образуются в результате осаждения техногенных взвесей и отходов (мусора) на дне водных объектов. В реальных условиях осаждению техногенного материала во многих случаях сопутствует процесс естественной седиментации. По этой

техногенных скоплений вещества в одинаковой степени применимы как техногенным телам, так и техногенным структурам.

причине в подобных телах обычно присутствуют и компоненты природного происхождения. Образующиеся в результате этих одновременно протекающих процессов тела следует рассматривать как *природно-техногенные*. Их примером могут служить подводные грунты с большим количеством техногенных включений и техногенных блоков, образовавшихся из продуктов разрушения различных отходов и фрагментов затопленных конструкций (изделий).

Вторичные техногенные тела возникают в процессе пространственного перемещения ранее образовавшихся техногенных тел, которые в данном контексте рассматриваются как первичные. Примером может служить скопление вещества, возникшее в результате переотложения техногенных наносов (рис. 1.5).

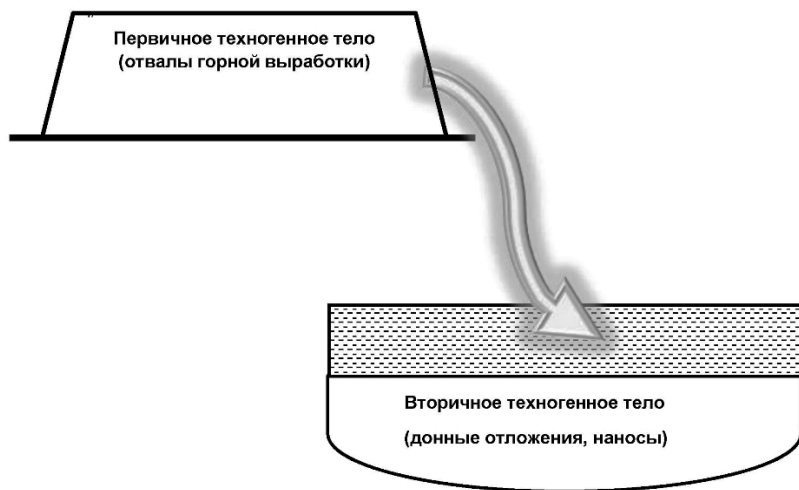


Рисунок 1.5. Образование вторичного техногенного тела в виде донных отложений, формирующихся из материалов отвала горной выработки

Нередко в процессе перемещения в материал, формирующий наносы, включаются новые компоненты. Условия их аккумуляции на новом месте также могут быть иными. В результате они, например, могут лишиться своих мелкоразмерных фракций. По этим и другим причинам структура и состав вторичных техногенных тел, как правило, имеет существенные отличия от первичных тел, на основе которых они сформировались. Если связь между первичным и вторичным телом носит постоянный характер или периодически возобновляется, то в совокупности их можно рассматривать как разновидность техногенной геологической формации.

В некоторых случаях миграция компонентов техногенного тела в окружающие ее участки земной коры, приводит к трансформации их физико-химических свойств. Таким образом, образуется еще одно техногенное тело, которое можно обозначить как *сопряженное техногенное* тело¹². Их примером могут служить грунты, расположенные под хранилищами отходов и свалок, состав которых претерпел существенные изменения (рис. 1.6). Содержание многих элементов, таких как Zn, Cu, Sn, Ag, Pb, Cr, может повыситься в них в десятки и даже сотни раз (Трофимов и др., 2015). Сопряженные техногенные тела на начальных этапах образования представляют собой зоны техногенного влияния (см. разд. 1.1). Их переход в новое состояние (т.е. возникновение из зоны техногенного влияния техногенного тела) происходит, когда процессы техногенеза приводят к принципиальному изменению их состава и/или свойств. Четкой границы между этими этапами техногенеза, как правило, не существуют.

¹² В тех случаях, когда подобные образования сохраняют естественную структуру, их также следует рассматривать как природно-техногенные тела.

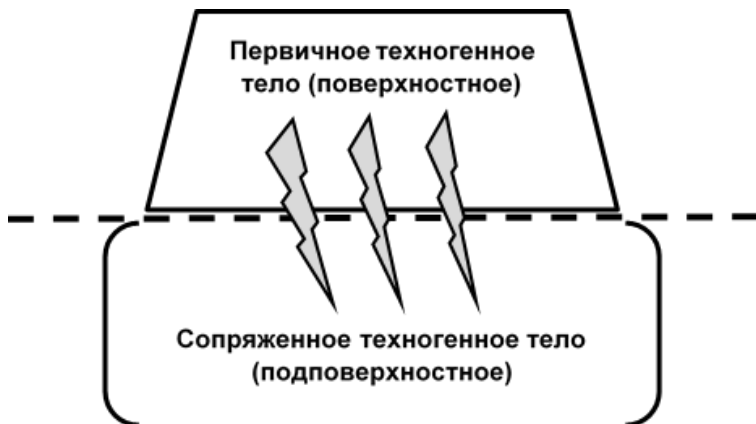


Рисунок 1.6. Образование сопряженного техногенного тела в результате загрязнения грунтов и горных пород, подстилающих свалку

В совокупности техногенные тела, под влиянием которых формируются новые техногенные тела и образовавшиеся в результате данного процесса сопряженные тела, можно рассматривать как разновидность техногенной геологической формации.

Новое техногенное тело может возникнуть не только при внедрении в естественные геологические тела каких-то чужеродных материалов, но и изъятия из них определенных компонентов, а также воздействий, вызывающих образование полостей, трещин и другие изменения структуры и текстуры, слагающих их пород. Участки недр, остающиеся после извлечения из них полезных ископаемых, например, выработанные нефтегазоносные или угольные пласты, уже обладают иными породным составом и структурой. Так, в породном массиве, окружающем подземную горную выработку, развивается сеть трещин (рис. 1.7).

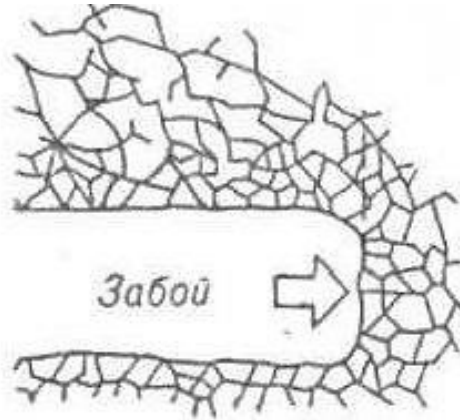


Рисунок 1.7. Реструктурированное техногенное тело, образовавшееся в результате развития сети трещин в горном массиве, окружающем подземную горную выработку (по Уотсон, 1986)

По окончании работ подземные выработки образуют обширную систему полостей, нередко заполняемых водой. В них может размещаться пустая порода или осуществляться захоронение промышленных отходов (Славиковский и др., 2010). Это сопровождается изменением свойств данного участка земной коры, например, его геодинамических характеристик. Подобные результаты техногенеза литосферы могут рассматриваться как образование отдельного вида техногенных тел – **реструктурированных** техногенных тел, а слагающие их породы как один из видов техногенных пород (см. разд. 2.4.2).

В качестве отдельных видов техногенных тел, возникших в результате физико-химической трансформации участков земной коры, обусловленных человеческой деятельностью, можно выделить фрекинговые, термотехногенные, дефростационные, криотехногенные и литофицированные тела.

Фрекинговые тела образуются в результате целенаправленного создания в пластах горных пород гидроразрывов, т.е. системы трещин, повышающих их проницаемость для различных газообразных и жидких веществ. Это достигается путем закачки в подземные пласты под высоким давлением воды или каких-то иных техногенных флюидов.¹³ Фрекинговые тела можно рассматривать как специфическую разновидность реструктурированных тел.

Термотехногенные тела образуются при целенаправленном (например, подземной газификации угольных пластов) или непреднамеренном повышении температуры недр (например, при пожарах в подземных выработках), вызывающих изменение механических и физико-химических свойств слагающих их горных пород.

Дефростационные техногенные тела возникают при деградации (оттаивании) многолетней мерзлоты под влиянием человеческой деятельности (например, возведением построек).

Особые виды техногенных тел возникают в результате действий по укреплению породных массивов (например, для создания устойчивых оснований для фундаментов зданий) путем нагнетания в них различных затвердевающих жидких субстанций, придающих им свойства скальных пород, а также их замораживания (Картозия и др., 2001). Возникающие в результате геологические тела и структуры можно соответственно обозначить как **литофицированные** и твердые **криотехногенные**¹⁴.

¹³ Данный метод, например, применяется для повышения дебита нефтяных скважин, добыче сланцевых углеводородов и освоении геотермальных энергетических ресурсов.

¹⁴ Существует также жидкие криотехногенные тела – рассолы с отрицательной температурой, сформировавшиеся из бытовых и промышленных стоков, способные образовывать скопления в толще многолетнемерзлых пород и на их поверхности. Они представляют собой разновидность так называемых криопэггов – жидких многолетнемерзлых пород (см. разд. 6.10).

Криотехногенные тела также могут формироваться при понижении температуры (ниже 0°C) участков земной коры, соприкасающихся с объектами, в которых с помощью специального оборудования постоянно поддерживается отрицательная температура.

Техногенные тела отличаются **по скорости процессов трансформации** слагающего их материала и продолжительности времени своего существования. По этому признаку, т.е. устойчивости во времени, можно различать:

- **стабильные** техногенные тела, состав и масса которых остается неизменной в течении неограниченно длительного времени;

- **трансформирующиеся** техногенные тела, состав которых претерпевает существенные изменения в результате физико-химических и микробиологических процессов, но это не приводит к потере значительной части их массы;

- **деградирующие** техногенные тела, объем и масса которых закономерно сокращаются в силу естественных причин.

По характеру залегания (размещения) техногенные тела можно разделить на поверхностные, запечатанные, подповерхностные (захороненные), глубинные (подземные), стволовые, подводные, прибрежные и островные. К **поверхностным** относятся техногенные тела, соприкасающиеся с воздушной средой (рис. 2.1). Под **запечатанными** техногенными телами в данном случае подразумеваются образования, ранее выходявшие на поверхность и контактировавшие с воздушной средой (поверхностные тела), а затем изолированные от нее асфальтобетонными и иными покрытиями. Подобные техногенные тела практически неизбежно возникают в процессе урбанизации территории. Необходимость их выделения в отдельную категорию обусловлена тем, что после запечатывания поверхностных техногенных тел, характер протекающих в них процессов, а также их воздействие на окружающую среду могут существенно измениться. Существование

запечатанных техногенных тел может представлять интерес и с точки зрения обеспечения здоровья и безопасности жизни населения (высачивание вредных газообразных веществ в подвальные и иные поземные сооружения, скрытое образование промоин с последующим обрушением покрытий и др.).

Подповерхностные техногенные тела возникают при покрытии поверхностных тел слоем грунта или какого-либо материала. Например, они образуются при отсыпке плодородного слоя в ходе рекультивации отвалов и хвостохранилищ.

Глубинные или **подземные** техногенные тела формируются как при целенаправленном размещении отходов или других искусственных материалов в толще горных пород (например, в выведенных из эксплуатации закрытых горных выработках), так и при спонтанном (неконтролируемом) образовании в них скоплений инородного вещества или накоплении его при просачивании из вышележащих слоев (примером могут служить подземные линзы жидких отходов).

Стволовые техногенные тела простираются от поверхности земли до ее глубоких слоев, пронизывая толщу горных пород на значительном протяжении. К ним можно отнести засыпанные шахты, а также участки недр, трансформированные в ходе бурения скважин.

Подводные техногенные тела возникают как целенаправленно (например, организованное захоронение отходов в море), так и спонтанно в результате отложения (аккумуляции) загрязнителей и мусора на дне водных объектов.

Прибрежные техногенные тела уже много веков создаются в ряде стран с высоким уровнем населения для расширения территорий, пригодных для хозяйственного освоения (Уотсон, 1986). Кроме того, они могут выполнять функцию сооружений, защищающих от наводнений и абразионного разрушения берегов (Басс, 2015). В

Нидерландах такие техногенные тела, получившие название *польдеров*, существуют уже в течении более 600 лет. Работы по их созданию включают не только отгораживание прибрежного участка моря и его осушение. Помимо этого, осуществляется удаление слоя засоленных поверхностных отложений, а затем отсыпка на их место другого материала (заполняющего грунта, плодородного слоя земли). Таким образом, пolder – это не просто осушенный участок моря, а искусственно созданный участок земной коры. В совокупности с ограждающими насыпями он может рассматриваться как техногенная геологическая формация, состоящая из нескольких тел, различающихся по своей структуре и составу. Первоначально пolderы предназначались главным образом для ведения сельского хозяйства. На современном этапе подобная деятельность в большинстве случаев осуществляется с целью создания новых участков для городской застройки и строительства портовых сооружений. **Островные** техногенные тела – это массивы из различных материалов, возникающие при возведении искусственных островов на морском шельфе. Они также могут создаваться также и в акваториях крупных континентальных водных объектов.

По своей динамике техногенные геологические тела могут быть разделены на *пополняемые*, законсервированные и исторические. Первый из этих видов техногенных тел характеризуется постоянным поступлением в него новых количеств вещества, что приводит к закономерному увеличению их массы и объема. К **законсервированным** относятся организованные техногенные тела, внесение в которых нового материала официально запрещено, а для невозможности осуществления таких действий созданы специальные барьеры или заграждения. Их примером могут являться могильники радиоактивных отходов, емкости которых полностью заполнены.

Под термином **«исторические техногенные тела»** понимаются образования искусственного происхождения, возникшие в предшествующие периоды, и длительное время не вовлекаемые в сферу человеческой деятельности. Например, это хвостохранилища и отвалы давно заброшенных горных выработок, захороненные скопления отходов уже несуществующих предприятий и т.п. Особенностью исторических техногенных тел является отсутствие на данный момент юридического лица, которое несет ответственность за их образование.

По источникам возникновения техногенные тела могут быть промышленными, горнопромышленными, нефтепромысловыми, агропромышленными (биотехногенными), градостроительными, урбанизационными, селитебными, руинизированными, хозяйственно-бытовыми и военными. **Промышленные** техногенные тела возникают в результате накопления в окружающей среде отходов производственных предприятий. Выделение **горнопромышленных** и **нефтепромысловых** техногенных тел в отдельные категории обусловлено их масштабностью и спецификой процессов формирования, отличных от образования техногенных тел при осуществлении иных видов промышленной деятельности. Так, на долю горных промышленности приходится 70-80% объёма всех отходов (Плющ, 2006). Ежегодно в мире при добыче и переработке минерального сырья образуется свыше 15-18 млрд тонн так называемых «пустых пород», которые формируют крупномасштабные техногенные тела – отвалы, хвостохранилища и др. (Славиковский и др., 2010). Развитие нефтедобывающей отрасли также сопровождалось техногенной трансформацией обширных участков литосферы.

Агропромышленные техногенные (**биотехногенные**) тела возникают в результате трансформации поверхностных слоев земной коры в процессе сельскохозяйственной деятельности или, в

более широком понимании, при использовании биотехнологий промышленного выращивания различных организмов. В частности, они образуются при накоплении в среде отходов и побочных продуктов сельскохозяйственной деятельности. Примером могут служить масштабные отложения навоза вблизи животноводческих предприятий, иногда захораниваемых или запечатываемых при стремительном распространении городской застройки. Биотехногенные тела могут также возникнуть в результате отложения продуктов жизнедеятельности организмов на дне водных объектов, например, расположенных под объектами садкового рыбоводства. При использовании этой биотехнологии при выращивании 1 т товарной рыбы в среднем образуется более 8 м³ донных отложений (Старко, 2013). За несколько лет общий объем отложений под садками одного хозяйства может составлять тысячи кубических метров.

Градостроительные техногенные тела формируются из отходов, возникающих при строительстве. Их основную массу составляют материалы, образующиеся при демонтаже зданий и сооружений с целью освобождения места для возведения новых объектов капитального строительства (отходы строительства и сноса).

Под **урбанизационными** техногенными телами понимается широкий спектр образований, в большинстве случаев, существующих на поверхности земной коры и вблизи от нее, возникновение которых связано с возведением и функционированием городской застройки (урбосистемы). К ним относятся основания фундаментов и массивы горных пород, трансформированные при строительстве подземных частей городских построек, запечатанные асфальтобетонными покрытиями почвогрунты, подземные линзы жидких техногенных тел, образовавшиеся в результате просачивания загрязненных вод с поверхности, а также протечек из подземных коммуникаций и

сооружений (например, канализационных коллекторов) и пр. **Селитебные** техногенные тела образуются в результате постепенной аккумуляции продуктов жизнедеятельности человека на территории его поселений. К подобным образованиям некоторые исследователи относят так называемый «культурный слой», формировавшийся в течении столетий на территориях населенных пунктов (Соколовский, 2006). **Руинизированные** техногенные тела образуются из остатков (фрагментов) различных сооружений и крупных построек, возникших в результате их разрушения. **Хозяйственно-бытовые** техногенные тела формируются из скоплений отходов, продуцируемых населением. Их наиболее распространенная разновидность это пополняемые или законсервированные городские свалки. Образующиеся на них компактные скопления отходов называют *свалочными телами*. Четкой границы между селитебными и хозяйственно-бытовыми телами не существует. Основное различие заключается в том, что селитебные тела в большинстве случаев представляют собой слой отложений, занимающий значительную площадь и формирующиеся в течение длительного периода. Хозяйственно-бытовые тела – это более или менее компактные скопления, возникающие на ограниченной площади¹⁵. Процесс их образования по сравнению с селитебными телами непродолжителен.

Достаточно распространены техногенные тела и структуры, возникшие в результате возведения оборонительных сооружений или в ходе вооруженных конфликтов. В совокупности их можно обозначить как **военные** техногенные тела. Возраст некоторых из них превышает тысячи лет. Примером могут являться так называемые «*змиевы валы*» на территории Украины и Молдавии – остатки системы древних оборонительных сооружений,

¹⁵ Но суммарная площадь, занимаемая городскими свалками, может быть весьма значительной.

защищавших Древнюю Русь от набегов кочевников. Предположительно период возведения длился со II века н.э. до IV века н.э. (Котлов, 1978). Общая длина Змиевых валов составляет сотни километров, а мощность достигает 10 м и более при ширине основания свыше 20 м. При строительстве фортификационных сооружений в периоды первой и второй мировых войн на территории Европы объем перемещенных грунтов составил несколько миллиардов кубических метров (Хазанов, 1975). Особую разновидность военных тел представляют *ядерновзрывные техногенные тела*, которые возникают в результате подземных испытаний ядерного оружия. Огромное количество выделяющейся при этом энергии приводит к образованию массива трансформированных горных пород, протяженностью в сотни метров, которые по своей структуре и свойствам существенно отличаются от окружающей их участков земной коры (Харькина, 2014).

С точки зрения **возможности хозяйственного освоения** сырьевых ресурсов техногенных геологических тел выделяется отдельная категория, обозначаемая как ***техногенные месторождения***. Под ними подразумевают искусственно созданные в прошлом крупные скопления вещества, которые длительное время не использовались, но в настоящее время могут рассматриваться как сырьевые источники (Архипов, Решетняк, 2017). В качестве отдельной их разновидности рассматривают ***потенциальные техногенные месторождения***, разработка которых при современном уровне технологического развития экономически еще нецелесообразна. Однако в обозримой перспективе подобный взгляд на эти запасы сырья может принципиально измениться. Отдельным видом искусственных образований на поверхности земной коры, в составе которых содержатся хозяйственно ценные элементы, считаются ***техногенные накопления вторичных***

ресурсов. Согласно определению, данному в пункте 3.2.7 ГОСТа Р 54098-2010¹⁶ – это специально обустроенные или необустроенные участки накопления отходов, предусматривающие их хозяйственное использование в ближайшем или отдаленном будущем. В нормативных также употребляется близкий термин *техногенные образования сырья*¹⁷, использование которых планируется в конкретные сроки. Таким образом, отличие техногенных накоплений и техногенных образований сырья от техногенных месторождений заключается в том, что они уже в момент своего возникновения официально рассматриваются как источники добычи ценных веществ.

Исходя из **особенностей структуры** техногенных тел, среди них можно выделить: **гомогенные**, относительно однородные по всему объему; **равномерно-гетерогенные**, состоящие из нескольких структурных элементов, относительно равномерно распределенных по всему объему этого тела; **гетерогенно-агрегированные**, содержащие отдельные включения (агрегации), отличающиеся по своему составу от основной массы тела; **гетерогенно-стратифицированные**, толща которых состоит из нескольких различных слоев и **гетерогенно-зональные**, сформированные из отдельных участков (зон), каждая из которых отличается по своему составу и слагающие их материалы могут иметь различное происхождение. Примером может служить техногенное тело, возникшее как результат последовательного заполнения заброшенного карьера отходами различного состава, образовавшего в нем ряд участков (зон).

¹⁶ ГОСТ Р 54098-2010 «Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения»

¹⁷ГОСТ Р 54098-2010 «Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения», пункт 3.3.12; ГОСТ Р 56828.15-2016 «Наилучшие доступные технологии. Термины и определения», пункт 2.190.

Классифицировать техногенные тела можно также **по характеру пространственного распределения их объема**. Они могут быть **целостными** и **комплексными**, т.е. формирующиеся как несколько близкорасположенных, но отделенных друга от друга крупных тел, которые благодаря их функциональной взаимосвязанности можно рассматривать как единый объект. Примером могут служить секции хвостохранилища. Отдельную категорию составляют **фрагментарные** техногенные тела, представляющие собой значительное количество относительно небольших по объему скоплений продуктов человеческой деятельности, сосредоточенных на определенной площади, которая в целом может рассматриваться как единый участок техногенно трансформированной среды. Например, это небольшие неорганизованные свалки вдоль автотрасс или многочисленные точечные места захоронения отходов на территориях бывших промзон. При анализе процессов, обусловленных существованием фрагментарных техногенных тел, например, загрязнения почв и подземных вод их нередко рассматривают как единый фактор.

По фазовому состоянию вещества можно выделить твердые, жидкие, газообразные, двухфазные и полифазные техногенные тела. Очевидно, что подобное деление не может иметь четких границ. Большинство техногенных тел можно отнести к категории **твердых**. Вместе с тем, в них, как правило, присутствует некоторое количество жидкостей и газов. Поэтому, к данному виду следует отнести образования, в которых твердая фаза составляет не менее 90% их массы. Примером **жидких** техногенных тел могут служить линзы нефтепродуктов или каких-либо иных жидкостей, например, образовавшиеся в результате их просачивания в подземные слои с территорий промышленных предприятий или городской застройки. К данному виду следует также отнести различные техногенные рассолы, образующиеся в горных выработках (Фетисов и др., 2015).

Наиболее распространенной формой **газообразных** техногенных тел в настоящее время являются так называемые бесшахтные газохранилища, организуемые в искусственно создаваемых полостях в пластах каменной соли (Картозия и др. 2001). В структуре **двухфазных** техногенных тел присутствуют более или менее равномерно распределенные в твердом материале небольшие полости, заполненные либо жидкими, либо газообразными веществами. В **полифазных** техногенных телах слагающие их вещества в сопоставимых количествах (объемах) одновременно присутствуют во всех фазах (твердой, жидкой, газообразной).

Существуют категории техногенных тел, которые следует рассматривать как **источники радиационной или химической опасности**, т.е. **радиационно опасные и химически опасные** техногенные тела. Кроме того, некоторые тела, возникающие в земной коре и на ее поверхности в результате человеческой деятельности, создают угрозу для жизни и здоровья людей в результате образования провалов, обвалов и иных опасных геодинамических процессов на занятых ими участках. В соответствии с этим их можно обозначить как **геодинамически-опасные** техногенные тела.

Приведенные классификации отражают отдельные аспекты, которые могут быть одновременно свойственны одному и тому же техногенному телу. Например, конкретный объект можно охарактеризовать, как стабильное подповерхностное гетерогенно-агрегированное техногенное геологическое тело.

ГЛАВА II. ТЕХНОГЕНЕЗ ЛИТОСФЕРЫ И ЕЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ

2.1. ЛИТОСФЕРА, БИОСФЕРА И БИОТЕХНОСФЕРА КАК СРЕДА СУЩЕСТВОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ТЕЛ

С точки зрения «второй геологии» все техногенные тела, образующие участок поверхности нашей планеты или размещенные в ее недрах являются компонентами литосферы. Вместе с тем в отношении некоторых их видов данное утверждение носит скорее «концептуальный характер» и принимается для удобства обобщенного анализа процессов их формирования. Например, некоторые виды техногенных грунтов, в ряде работ описываются специалистами как особые виды почв – урбаноземы или урбоземы (Герасимова и др., 2018). Их возникновение (формирование) и трансформация представляются как процессы почвообразования, происходящие в особых условиях. В этой сфере граница между объектами исследования геологии и почвоведения весьма условна. Вместе с тем, методологические подходы этих наук имеют принципиальные отличия. Например, это отношение к протекающим в почвах биологических процессов или на вопрос об их плодородии. Аналогичное заключение можно сделать и относительно подходов к исследованию многих современных подводных отложений, которые нередко образуются главным образом из материалов техногенного происхождения. По этой причине в монографии они рассматриваются как один из видов техногенных тел – седиментационные тела. Но, с точки зрения гидрологов и геоморфологов – это наносы и в геологические тела они могут превратиться лишь в процессе длительного диагенеза.

Основная часть техногенных тел в настоящее время возникает (целенаправленно формируется, образуется в качестве побочного эффекта человеческой деятельности) и залегает в пределах

биосферы (биосферного пространства). В определенной степени они могут рассматриваться как элементы этой системы (рис. 2.1).

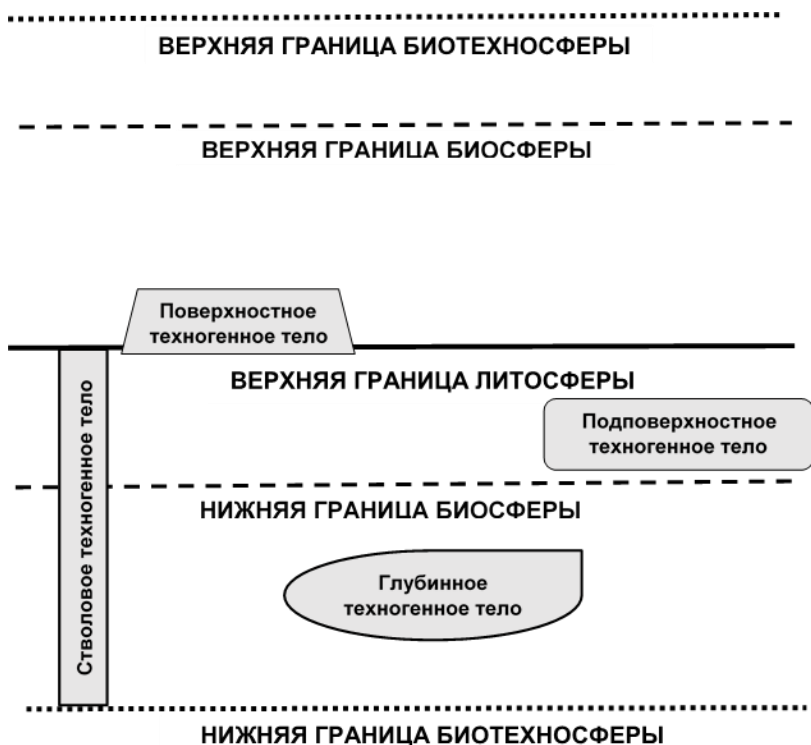


Рисунок 2.1. Область существования техногенных геологических тел

Вспомним, что в ее границы В.И. Вернадским (2004) были включены и слои земной коры, не населенные живыми организмами, но образовавшиеся при их активном участии в предшествующие геологические эпохи. Но техногенные тела существуют и за пределами границ биосферы. Примером могут служить некоторые подземные выработки вместе с окружающим их трансформированным массивом горных пород

(реструктурированными техногенными телами). Но находясь за границами биосферы такие техногенные тела способны оказывать на нее значимое воздействие, например, в форме явлений наведенной сейсмичности или геофизических аномалий. Таким образом, эти образования, не являясь элементами биосферы, составляют с ней другой системное целое – биотехносферу.

Биотехносфера образуется в процессе техногенеза биосферы (Суздалева, Горюнова, 2017). Ее основная часть – это биосфера, состояние которой все в большей степени формируется под значимым воздействием техногенных факторов. Образующаяся в результате система приобретает новые свойства. Границы биотехносферы постоянно расширяются, распространяясь на все участки пространства, в которых благодаря человеческой деятельности происходит трансформация (техногенез) естественных тел или образование искусственных скоплений вещества. Например, этот процесс сопутствует непрекращающимся попыткам освоения человеком ресурсов все более глубоких слоев земной коры (Кременецкий и др., 2006). Это открывает путь для проникновения в них микроорганизмов, которые могут развиваться при отсутствии в среде свободного кислорода и существовать при высокой температуре. В настоящее время нижней границей, подверженной техногенезу литосферы, можно считать глубину бурения сверхглубоких скважин – 7-8 км (Кольская скважина – более 12 км) (Матусевич, Ковяткина, 2013).

Одновременно в состав биотехносферы постепенно включается околоземное космическое пространство, в которое в процессе его освоения человеком проникают и некоторые микроорганизмы (Суздалева, 2017). На внешней поверхности длительное время эксплуатируемых космических аппаратов происходит отложение органических субстратов (несгоревших остатков топлива, масел), которые пригодны для поддержания существования некоторых бактерий. Можно предположить, что по мере освоения космоса

силами частных компаний¹⁸ техногенные тела будут возникать и в космическом пространстве, окружающем планету, например, в результате накопления отходов и продуктов жизнедеятельности персонала постоянно функционирующих крупных орбитальных комплексов.

Состояние всех элементов биотехносферы, как и любой иной системы, взаимозависимо. Следовательно, процессы, происходящие в техногенных телах способны оказывать воздействие на жизнь живых организмов и условия существования человека, которые также являются элементами этой системы. Это воздействие весьма многообразно и складывается из множества разнородных факторов. Для их анализа может быть использована получившая широкое распространение классификация процессов, протекающих в земной коре, которые влияют на экологическую ситуацию, складывающуюся на ее поверхности. Отдельные их категории обозначаются как «*экологические функции литосферы*» (Трофимов, Зилинг, 1997; Трофимов, 2005). Среди них выделяют:

- георесурсную¹⁹ или ресурсную экологическую функцию литосферы, т.е. ее роль как поверхности, служащей средой обитания человека и других наземных организмов, а также как источник сырья, используемого людьми в различных целях;

- геодинамическую экологическую функцию литосферы, т.е. влияние различных форм движения земной коры на условия жизни организмов и жизнедеятельность населения;

- геохимическую экологическую функцию литосферы, включающую совокупность химических процессов, протекающих в

¹⁸ Развитие этой деятельности в настоящее время спонсируется правительствами США и Китая, для организации частных космодромов предоставляются земельные участки.

¹⁹ Формулировка «георесурсная экологическая функция» была предложена позже, чем «ресурсная экологическая функция» как синоним, более точно отражающий содержание данного понятия (Трофимов, Куриленко, 2015).

земной коре и оказывающих значимое влияние на состояние среды обитания живых организмов;

- геофизическую экологическую функцию литосферы, т.е. процессы и явления, связанные с воздействием на организмы различных физических факторов, сила проявления которых определяется или зависит от строения земной коры.

Рассмотрим значимость техногенных геологических тел в характере проявлений каждой из этих функций.

2.2. ГЕОРЕСУРСНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ

2.2.1. Трансформация георесурсной экологической функции в условиях техногенеза земной коры

Понятие георесурсная экологическая функция литосферы включает два различных аспекта условий существования живых организмов и человека:

- использование компонентов литосферы в качестве источника веществ, необходимых для поддержания биологических процессов, а также обеспечения благоприятных условий жизнедеятельности человека;

- использование поверхности земной коры как основы формирования среды обитания людей и других живых организмов.

Для краткости эти **аспекты георесурсной функции** литосферы можно обозначить как «**вещественный**» и «**топический**».

Георесурсная экологическая функция была необходимым условием жизни на Земле на всех этапах ее развития. Но со становлением человеческой цивилизации ее характер начал принципиально изменяться. Используя технические приемы, люди стали осваивать все новые, ранее недосыгаемые, ресурсы литосферы и расширять пространство, пригодное для своего существования. В настоящее время можно сделать обоснованное заключение, что характер георесурсной экологической функции литосферы в ходе

техногенеза окружающей среды претерпел значительные изменения (Трофимов и др., 2015).

Процессы техногенной трансформации георесурсной экологической функции литосферы носят весьма многоплановый характер. Это обусловлено многообразием видов человеческой деятельности и тем, что большинство из них, достигая определенного уровня, неизбежно приводит к перераспределению вещественных и топических ресурсов земной коры. Вместе с тем, практически всем эти явлениям в той или иной мере свойственны две черты.

1. Они либо порождают образование новых техногенных тел, либо трансформируют ранее существовавшие геологические тела, в частности, изымая из них ценные компоненты. В последнем случае это практически неизбежно приводит к образованию отходов. Значительная часть из них, особенно в предшествующий исторический период, накапливалась на поверхности земной коры или размещалась на небольшой глубине, формируя многочисленные поверхностные и подповерхностные техногенные тела. В некоторых из этих тел оставались вещества, извлечение которых с развитием новых технологий или изменения экономической ситуации стало приносить прибыль. Такие техногенные тела стали рассматриваться как «техногенные месторождения».

2. Перераспределение вещественных и топических ресурсов литосферы в подавляющем большинстве случаев оказывает негативное воздействие на окружающую среду, сопровождается ухудшением ее состояния. Причем это происходит, когда техногенез вызывает утрату запасов необходимых для организмов веществ, так и при возникновении повышенного содержания в среде различных соединений. Примером может служить эвтрофирование водных объектов при поступлении в них фосфатов, вымываемых из открытых горных выработок. Еще более негативные последствия наблюдаются при поступлении в среду, населенную живыми

организмами, токсичных соединений, выщелачиваемых из поднятых на поверхности горных пород дождевыми и талыми водами.

Аналогичное заключение, касающиеся общего характера воздействия на экологические условия, можно сделать и относительно перераспределения топливных ресурсов. Вся поверхность земной коры за исключением участков, покрытых ледниками, является средой обитания живых организмов. Поэтому, практически всегда, человек, создавая для своих целей новое жизненное пространство, одновременно уничтожает ранее существовавшие местообитания других видов.

Нередко перечисленные разновидности нарушения человеком естественного характера ресурсной экологической функции литосферы могут одновременно рассматриваться и как нарушение ее геохимической экологической функции, а в ряде случаев, и геофизической или геодинамической экологических функций. Так, добыча полезных ископаемых, помимо изменения химизма среды, может сопровождаться возникновением оползней и провалов, а также повышением радиационного фона.

2.2.2. Вещественный аспект георесурсной экологической функции литосферы

Рассматривая литосферу в качестве источника необходимых человеку веществ, при их обозначении нередко используется прилагательное «природные» (природные запасы различных видов минерального сырья, природные флюиды и т.п.). Но процессы техногенеза привели образованию значительных искусственно созданных запасов веществ, которые также могут быть использованы для обеспечения нужд различных отраслей производства. Например, количество скандия в горнопромышленных техногенных телах превышает 100000 т – это

составляет более 60% мировых запасов данного химического элемента (Макаров, 2000). По своим запасам ценного сырья хвостохранилища некоторых предприятий этой отрасли существенно превосходят многие месторождения (Чантурия, Корюкин, 1998). При этом, следует отметить, что их разработка нанесет меньший ущерб окружающей среде, поскольку не требует проведения вскрышных и буровзрывных работ. Материал хвостохранилищ раздроблен и в значительной мере уже подготовлен для извлечения из него ценных компонентов с помощью современных более экологически безопасных технологий.

С одной стороны, сырьевой потенциал техногенных тел нельзя рассматривать как естественные запасы. Но, с другой стороны, в значительной мере он формируется из веществ сугубо естественного происхождения, оставшихся неизвлеченными при разработке месторождений по причине несовершенства использовавшихся технологий. При внедрении новых способов добычи полезных ископаемых объективных причин исключать эти запасы из сферы георесурсной экологической функции литосферы не существует. Напротив, они должны рассматриваться как их значимая часть. Подобный взгляд уже давно высказывался многими известными геологами (Агошков, 1984).

Ценные вещества в техногенных телах могут иметь и искусственное происхождение, например, существовать в форме захороненных промышленных отходов, состоящих из веществ, не встречающихся в природе. Кроме того, в техногенных телах происходит образование новых минералов и горных пород. Многие из этих «неестественных» образований также содержат элементы, пригодные для использования в различных отраслях. В условиях, когда природные запасы ряда полезных ископаемых близки к исчерпанию, отказ от разработки этих ресурсов был бы, несомненно, ошибочным решением. Приведем лишь один пример. Так, уже в недалеком будущем естественная сырьевая база для производства

фосфорных удобрений практически исчезнет. Это вызовет значительное снижение урожайности сельскохозяйственных культур, что в условиях нарастающего **мирового продовольственного кризиса** (невозможность удовлетворить пищевые потребности людей при современных темпах роста народонаселения планеты) неминуемо приведет к катастрофическим последствиям (Суздалева, 2020). В этой связи можно вспомнить высказывание известного американского эколога второй половины XX века Ю. Одума (1968), который указывал, что при прекращении вулканических извержений, продукты которых удобряют почву фосфором, от голода в мире погибало бы больше людей, чем в результате самих этих катаклизмов. Конечно, это суждение носит сугубо «иллюстративный характер» и использовалось для указания на важность для развития человечества биогеохимических циклов. Прямой зависимости между интенсивностью процессов вулканизма и степенью обеспеченности человечества пищевыми ресурсами не существует. Вместе с тем, добыча фосфорного сырья из техногенных тел, на основе их регистрации и исследования состава, т.е. разведки, содержащихся в них запасов, представляет собой один из вполне реальных путей решения данной проблемы.

Количество и общий объем техногенных тел в составе литосферы при сохранении современных тенденций развития нашей цивилизации будут неуклонно возрастать. Человек постепенно «перерабатывает» земную кору, вторгаясь во все более глубокие ее горизонты. Побочные продукты этой деятельности неиспользуемые в настоящее время, могут быть востребованы в будущем. Некоторые техногенные тела способны аккумулировать различные вещества, которые также могут стать ценным сырьем, а их депозитарии со временем превратиться в перспективные для разработки техногенные месторождения.

2.2.3. Топический аспект георесурсной экологической функции

Не менее важную роль техногенные тела начинают играть и в обеспечении «жизненного пространства». Один из путей выполнения этой задачи заключается в осушении и последующей засыпке различными материалами мелководных участков водоемов, т.е. формирование «прибрежных техногенных тел». Эта деятельность еще столетия назад, начиная с сооружения в 16-17 веках Нидерландах польдеров, постепенно приобрела масштабы, принципиально изменяющие характер береговой линии и процессов ее формирования. По этой причине для обозначения этих явлений нами был предложен специальный термин «геоморфологический техногенез» (Суздалева, Безносов, 2020).

В настоящее время подобная деятельность осуществляется во многих странах и ее объемы постоянно растут. Так, в XX веке в Финском заливе Балтийского моря районе Ленинграда в течение многих лет с помощью земснарядов на месте заболоченных побережий производилась намывка песчаных берегов (Новиков, 1976). Слой искусственных отложений мощностью 4-5 м всего за несколько лет был сформирован на участке, где сейчас располагается спортивный комплекс Москвы «Лужники», ранее представлявший собой болотистую низину. На п-ове Гонконг в Южно-Китайском море многие годы проводилось разрушение возвышенностей, материал которых отсыпался в море. Для создания новой территории под городскую застройку засыпали прибрежные участки моря и в районе Сан-Франциско (США). Для этого в основном использовали мусор. В результате гибла морская флора и фауна, а непрочный грунт создавал дополнительный риск разрушения возводимых в этом сейсмоопасном районе сооружений.

Особого внимания заслуживает «успешная» методика расширения своей территории Китаем вдоль р. Амур. Власти этой страны, осуществляя крупномасштабную отсыпку грунта вдоль

своего берега, стимулировали размыв российского берега реки. В результате произошел перенос государственной границы, проходящей по фарватеру р. Амур (Водно-экологические проблемы ..., 2003), что уже привело к передаче Китаю нескольких российских островов – Луговского, Попова и др.

Следует отметить, что для отсыпки прибрежных техногенных тел нередко применялись отходы. Более того, это рассматривалось как один из путей их рациональной утилизации (Леггет, 1976). Так, в г. Портсмут, расположенном на южном побережье Великобритании, муниципальные власти, не имея возможности организовать свалки на наземных участках, в течении многих лет свозили мусор в отгороженный участок морской бухты площадью 164 га. Первоначально предполагалось создать таким образом хранилище, способное вместить более 2,25 млн. т отходов. В другом английском городе Ливерпуле в 1932 г. участок акватории, отделенный от моря с помощью дамбы, после его заполнения отходами был превращен в приморский парк. Столица Ирландии г. Дублин в XX веке ежегодно отвоевывал моря 68 га земель за счет складирования вдоль побережья бытовых отходов и грунта из строительных котлованов.

Все большую распространенность приобретают также «островные техногенные тела». В качестве материала для их создания также иногда использовались отходы. Например, из твердых отходов и продуктов их сжигания в значительной мере был создан о. Дрим в Токийском заливе площадью 45,3 га (Леггет, 1976).

Цели, с которыми возводятся искусственные острова, весьма различны: организация добычи полезных ископаемых на шельфе, размещение аэродромов, производственных объектов, жилых массивов и пр. (Бровко, Малюгин, 2015; Абаева, 2016.). Периодически появляется информация о желании некоторых государств разместить на искусственных островах и военные объекты (Тригубенко, 2013).

Следует обратить внимание на скорость, с которой производится формирование прибрежных техногенных и островных тел. Аналогичный результат в ходе естественных геологических процессов мог быть достигнут лишь за многие тысячи лет.

Все создаваемые человеком прибрежные и островные техногенные тела, как большинство других искусственных образований будут заселяться различными организмами. Эти процессы могут происходить как спонтанно, так и в результате специально предпринимаемых мер, например, путем создания на новой территории городской застройки озелененных участков массового отдыха, т.е. организованных резортов (Суздалева и др., 2012). Таким образом, создавая новые участки суши для своих целей, человек создает новые местообитания и для других организмов, хотя при этом неизбежно происходит уничтожение ранее существовавших участков природной среды, как правило, сопровождающееся гибелью населявших ее организмов.

Следует отметить, еще один фактор, способный повлиять на георесурсную экологическую функцию. Трансформация образовавшихся в земной коре некоторых видов техногенных тел нередко сопровождается возникновением различного размера пустот. В результате их спонтанного уплотнения или обрушения возникают оседания и провалы. Эти явления мы рассмотрим в разделе 2.3.3 при анализе геодинамической экологической функции. Здесь лишь отметим, что возникающие в результате подобных явлений изменения рельефа могут иметь весьма серьезные экологические и социально-экономические последствия (образование новых водных объектов, изменение гидрогеологических условий и функционирования подземных источников водоснабжения, разрушение сооружений и др.).

Кратко резюмируя материалы данного раздела, можно сделать заключение, что образование техногенных тел приводит к

изменению георесурсной экологической функции в обоих ее основных аспектах, что проявляется:

- в возникновении новых источников веществ, которые могут быть использованы для обеспечения благоприятных условий жизнедеятельности человека;

- в появлении новых участков земной коры, пригодных для обитания людей и некоторых других живых организмов;

- в изменении рельефа земной поверхности, влекущего за собой изменение экологических условий, а в ряде случаев, и социально-экономической ситуации.

2.3. ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ

2.3.1. Значимость и основные виды геодинамических процессов

Геодинамическая экологическая функция литосферы проявляется во влиянии на организмы и условия существования людей процессов, связанных пространственным перемещением участков земной коры. Этот фактор во все геологические периоды играл важнейшую роль в формировании биосферы и оказывал значимое влияние на ход развития человеческой цивилизации (Трифонов, Караханян, 2004; 2008).

Естественные массивы горных пород складываются в процессе длительной эволюции. Ей свойственна общая тенденция к формированию скоплений веществ, наиболее стабильных при данных условиях. По этой причине возраст горных пород, как правило, измеряется десятками, сотнями миллионов лет. Техногенные тела в масштабах геологического времени возникают мгновенно. Их образование идет не в направлении достижения какого-то стабильного состояния, а определяется характером человеческой деятельности. Нередко, характер этих процессов зависит от сиюминутной экономической выгоды, при

игнорировании последствий дальнейшего существования возникающих техногенных геологических тел. Поэтому, в большинстве случаев подобные образования – это «очаги нестабильности» в земной коре. В процессе глобального техногенеза количество, масштабы и разнообразие видов техногенных геологических тел неуклонно возрастают. В соответствии с этим растет и значимость их влияния на характер геодинамики на все большем количестве участков планеты.

Существуют две основные категории геодинамических процессов: *процессы внутренней динамики или эндогенные геологические процессы* (тектонические движения, землетрясения, магматизм и др.) и *процессы внешней динамики или экзогенные геологические процессы*, происходящие под воздействием воздуха, воды, колебаний температуры и др. факторов окружающей среды (Соколовский, 2006). По причине принципиальной разнородности генезиса этих явлений их анализу посвящены два отдельных раздела монографии.

2.3.2. Эндогенная геодинамика

Влияние техногенных тел на эндогенные геологические процессы проявляется, главным образом, в форме сейсмических явлений, искусственно создаваемых при их образовании или трансформации. Во многих случаях эти колебания (техногенные сейсмические явления) по своему уровню сопоставимы с вибрацией, сопутствующей работе строительной техники. Они фиксируются только приборами. Вместе с тем они способны оказать значимое воздействие на экологическую ситуацию. На многих наземных и почвенных животных данный фактор оказывает негативное воздействие. В экологии существуют специальные термины «вибрационное загрязнение» и «отпугивающий эффект вибрации». Незначительные по силе, но многократно повторяющиеся

колебания земной поверхности (например, в процессе ее просадки над подповерхностными техногенными телами) могут оказать влияние и на здоровье человека, прежде всего, на его психическое состояние.

Но при определенных условиях человеческая деятельность может спровоцировать и достаточно сильные колебания земной коры, способные вызвать разрушения сооружений и элементов рельефа. Подобные явления обозначаются как **техногенные землетрясения**. Не останавливаясь на широко известных социально-экономических последствиях таких событий, отметим, что им нередко сопутствует катастрофическое ухудшение экологической и санитарно-эпидемиологической ситуации. Это происходит по многим причинам, среди которых следует отметить разрушение систем водоотведения сточных вод, поступление в окружающую среду токсичных продуктов в результате разгерметизации объектов их хранения, активизация оползневых процессов.

Очаги (гипоцентры) вызванных человеческой деятельностью землетрясений, как правило, располагаются на значительно меньшей глубине, чем у естественных. По этой причине даже относительно слабые землетрясения подобного рода способны вызвать локальные катастрофы (Адушкин, Турунтаев, 2005; 2015). Их небольшие магнитуды компенсируются близостью очагов к поверхности. Кроме того, искусственно создаваемые землетрясения могут происходить в регионах с низкой естественной сейсмичностью, где строительство объектов ведется без учета данного фактора. Это также повышает опасность подобных явлений.

Техногенная сейсмичность может быть обусловлена различными причинами. Наиболее полная классификация возникающих в результате человеческой деятельности колебаний земной коры представлена в работе В.В. Адушкина и С.Б. Турунтаева (2015). В

соответствии с ней существует две основных категории техногенных сейсмических явлений. Первая из них – это распространение колебаний в земной коре результате непосредственного воздействия техногенных факторов. Для их обозначения используется термин «**первичная техногенная сейсмичность**» (Гриб, Гриб, 2014; Адушкин, Турунтаев, 2015). Воздействия, непосредственно вызывающие сейсмические явления, могут воздействовать как на земную поверхность, так и проявляться в толще горных пород, где осуществляется та или иная человеческая деятельность. В связи с этим, можно выделить явления поверхностной и глубинной первичной техногенной сейсмичности (рис. 2.2 а-б).

Примером **поверхностной первичной техногенной сейсмичности** могут служить колебания земной коры, происходящие при различных наземных взрывных работах или ракетно-бомбовых ударах. **Источником техногенного воздействия** (ИТВ), вызывающим поверхностную первичную техногенную сейсмичность, может также стать мощное вибрационное воздействие, например, обусловленное работой генераторов объектов энергетики, железнодорожным транспортом и даже сбросом воды на гидроэлектростанциях. Так, пропуск паводковых вод через плотину Жигулевской ГЭС вызывает сейсмические волны хорошо ощущаемых людьми, проживающими в многоэтажных домах, расположенных на расстоянии 2-4 км (Симаков, Шумакова, 2010). В некоторых из этих зданий были зафиксированы признаки интенсивного разрушения строительных конструкций.

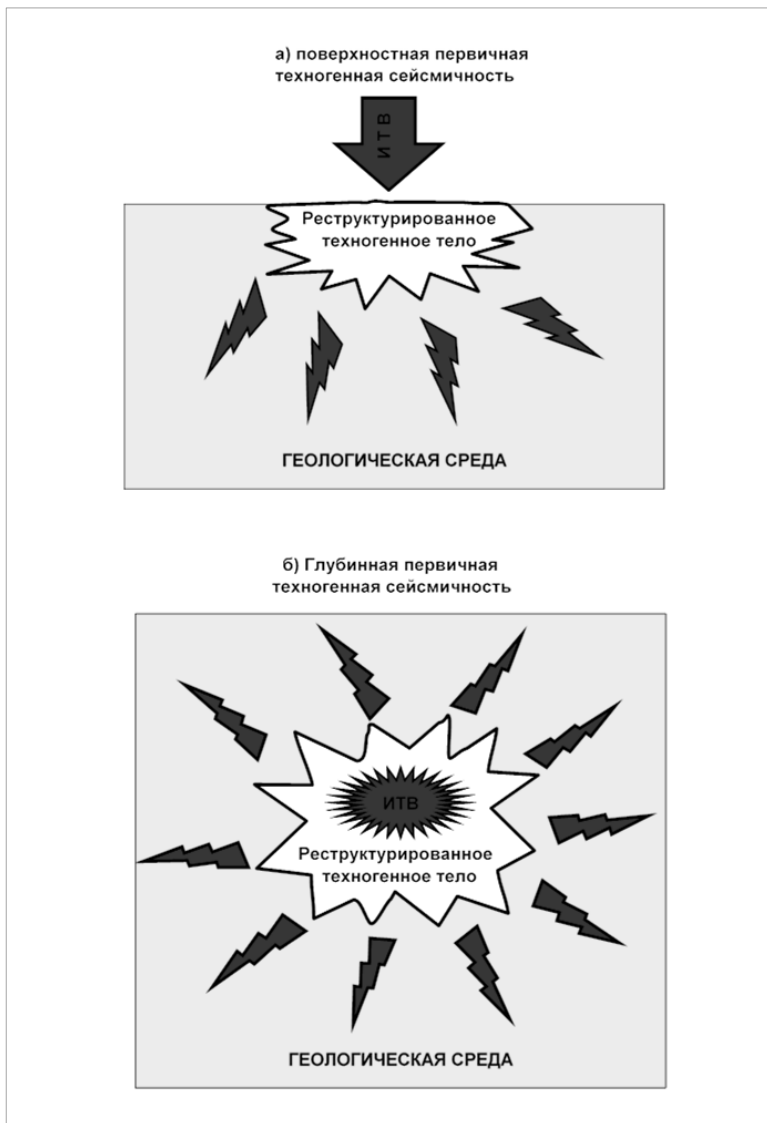


Рисунок 2.2. Первичная техногенная сейсмичность

Источниками *глубинной первичной техногенной сейсмичности* являются различные буровзрывные работы, проводимые в закрытых горных выработках, а также происходящие в них аварийные взрывы и так называемые «горные удары», представляющие собой взрывообразное разрушение предельно напряженного пласта, которое может быть спровоцировано проведением горных работ. Результатом нередко становится обрушение подземных горных выработок (Мельников и др., 2015). Наиболее сильные подобные явления, сопровождающиеся разрушением прилегающего к выработке массива горных пород, обозначают термином «*горно-тектонические удары*». Такие события способны вызвать мощные сейсмические колебания (Ловчиков, 2013). Еще более сильные проявления первичной техногенной сейсмичности наблюдаются при подземных ядерных взрывах, осуществляемых в глубоких шахтах (Пасечник, 1977)²⁰.

Первичная техногенная сейсмичность может быть не связана с существованием каких-либо техногенных тел. Но такие тела могут возникать одновременно с сейсмическими явлениями в результате воздействия на участок литосферы порождающего их фактора. Например, при подземном ядерном взрыве происходят не только колебания земной коры, но и возникает глубинное реструктурированное техногенное тело (Харькина, 2014). В результате масштабных взрывных работ на земной поверхности практически неизбежно образуется поверхностное реструктурированное техногенное тело.

Высказывается мнение, что первичная техногенная сейсмичность может иметь позитивные эффекты (Николаев,

²⁰ Подземные ядерные взрывы, в зависимости от особенностей геологического строения недр на участках их проведения, могут также спровоцировать индуцированные и триггерные землетрясения, механизмы возникновения которых будут рассмотрены несколько позже.

Жигалин, 2003; Жигалин, Николаев, 2012). Например, подземные ядерные взрывы и мощные ракетно-бомбовые удары неядерными боеприпасами активизирует слабую и умеренную естественную сейсмичность, способствующую сбросу части тектонических напряжений. По этой причине на обширных территориях риск возникновения мощных землетрясений с катастрофическими экологическими последствиями может снизиться. Очевидно, что на современном этапе²¹ какие-либо последствия ядерных испытаний и тем более военных конфликтов с экологической точки зрения трудно рассматривать как позитивные. Но сама идея об организации искусственных сейсмических ударов как средстве предотвращения катастрофических землетрясений путем их «размена» на серию менее мощных неоднократно привлекала внимание специалистов, предлагавших различные способы практического решения проблемы (Мухамедиев, 2010). Следует отметить, что большинство этих и иных предлагавшихся методов предотвращения сильных землетрясений (например, путем закачки с этой целью в недра воды (Мирзоев и др., 2010)) предполагают формирование в литосфере новых техногенных тел.

Вторую категорию явлений, заключающихся в искусственном образовании сейсмических колебаний, наиболее часто называют **наведенной техногенной сейсмичностью** или **наведенной сейсмичностью**. Одновременно используется и ряд других терминов, например, «возбужденная сейсмичность» (Николаев, 1977), «искусственные землетрясения» (Никонов, 1980) или распространенное в зарубежной научной литературе понятие

²¹ Но в предшествующие годы идеи о перспективности использования подземных ядерных взрывов в подобных целях не только пропагандировались, но реализовывались на практике, демонстрируя ошутимый эффект (McEvelly, Peppin, 1972; Пасечник, 1977).

«стимулированная сейсмичность» (stimulation seismicity) (Izadi, Elsworth, 2014).

Наведенная техногенная сейсмичность возникает не в результате непосредственного воздействия фактора, связанного с человеческой деятельностью, а как его последствие, иногда отсроченное на длительный период времени. В упрощенном виде все эти явления можно представить как следующую цепочку событий: техногенное воздействие провоцирует дестабилизацию естественной геологической структуры, при котором высвобождающаяся энергия распространяется в толще горных пород в форме сейсмических волн.

Процессы, приводящие к наведенной сейсмичности, нередко связаны с образованием и трансформацией техногенных тел, в большинстве случаев относимых, согласно классификации, приведенной в разделе 1.4, к категории «реструктурированных», в т.ч. измененных при подземной добыче полезных ископаемых²².

Существуют две формы наведенной сейсмичности – индуцированная и триггерная, отличающиеся по реакции земной коры на техногенные воздействия.

Индуцированная сейсмичность, иногда также обозначаемая как «вынужденная сейсмичность» (Николаев, 1994), возникает в результате разрушения под воздействием техногенных факторов горного массива или активизации в нем процессов, приводящих к

²²Существуют и другие причины возникновения наведенной сейсмичности. Прежде всего, это наполнение водохранилищ, водная масса которых оказывает сильное давление на затопленные участки земной коры. Для обозначения сейсмических явлений, обусловленных данным фактором, нередко используется специальный термин «плотинные землетрясения» (Адушкин, Турунтаев, 2015). Наиболее сильное из них (магнитуда 6,5), в результате которого погибло более 200 человек, произошло в 1967 г. в районе плотины Коупа в Индии (Rajendran, Harish, 2000). Но в соответствии с тематикой монографии данный вид наведенной сейсмичности в ней не рассматривается.

деформации его структуры. Таким образом формируется **«искусственный источник сейсмичности»** (ИИС) (рис 2.3 а). Эти процессы могут развиваться длительное время. В определенный момент созданный очаг дестабилизация геологической структуры активизирует геодинамические процессы (подвижки участков недр и др.), генерирующие сейсмические волны. Воздействиями, создающими условия для индуцированной сейсмичности, могут быть горные удары, возникающие во время буровзрывных работ, формирование гидроразрывов в пластах, осуществляемое с целью повышения нефтеотдачи, и некоторые другие виды деятельности (Шемякин и др., 1986 Мельников и др., 2015), в т.ч. подземные испытания ядерного оружия (Пасечник, 1977).

Гипоцентры индуцированной сейсмичности расположены и источники порождающих их техногенных воздействий, как правило, расположены на небольшом удалении друг от друга, например, в непосредственной близости от горной выработки, разрабатываемых пластах нефтяного месторождения, т.е. в границах подземного реструктурированного тела.

Энергия колебаний при индуцированной сейсмичности, как правило, невелика (магнитуды не превышают 2-3). Как и первичная техногенная сейсмичность, эти явления могут происходить в условиях, для которых естественные сейсмические колебания нехарактерны.

Триггерная сейсмичность возникает за счет высвобождения запасов энергии (разрядки напряжений), накопленных естественным образом в земной коре, а не формирует их искусственно как при индуцированной сейсмичности. Техногенное воздействие в этом случае только ускоряет или запускает процесс высвобождения собственных запасов упругой энергии в горном массиве (является триггером, т.е. спусковым крючком). Оно

вызывает срабатывание практически готового очага землетрясения – *естественного источника сейсмичности* (ЕИС) (рис. 2.3 б).

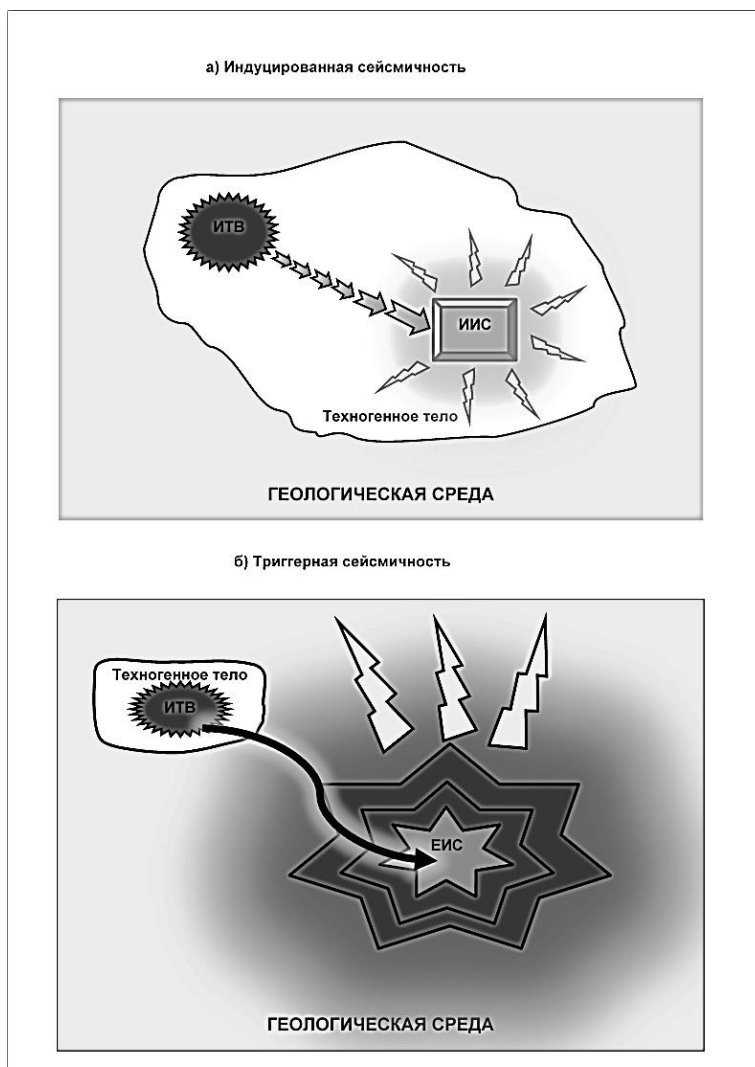


Рисунок 2.3. Наведенная техногенная сейсмичность

В таких случаях даже слабые воздействия могут привести к возникновению колебаний земной коры очень большой силы. Гипоцентр триггерного землетрясения может находиться на значительном удалении от источника породившего его техногенного воздействия. Явления триггерной сейсмичности более характерны для регионов с высокой природной сейсмичностью. Но иногда они возникают в результате техногенных воздействий в несейсмичных или слабосейсмичных районах, что является неожиданным и, следовательно, еще более опасным событием.

Четкое разделение явлений индуцированной и триггерной сейсмичности иногда достаточно сложно. В общем случае для их различения предлагается использовать следующий критерий: индуцированная сейсмичность характеризуется энергией, не превышающей энергию техногенного воздействия, а к триггерной сейсмичности относятся такие события, энергия которых превышает энергию техногенного воздействия (Адушкин, Турунтаев, 2015).

Отдельно следует отметить, что наведенная сейсмичность, связанная с использованием недр, возникает не только при добыче полезных ископаемых и образовании реструктурированных техногенных тел. Подобные явления могут также возникнуть при формировании подземных техногенных тел, относящихся к категории «побочно-продуктовых» т.е. при целенаправленном размещении отходов и иных чужеродных материалов в глубоких слоях земной коры. Так, было установлено, что землетрясения в штате Колорадо США были вызваны закачкой отработанных радиоактивных вод в скважину глубиной 3671 м (Соколовский, 2006). Техногенные землетрясения также вызываются закачкой жидкостей для поддержания пластовых давлений с целью повышения нефтеотдачи (Харькина, 2014).

Анализируя фактический материал, характеризующий значимость событий, обусловленных наведенной сейсмичностью,

можно прийти к заключению, что наибольшую опасность представляют сильные землетрясения, спровоцированные разработкой месторождений нефти и газа, которые можно отнести к категории триггерных. Для их обозначения используется термин «тектонические землетрясения техногенного происхождения» (Адушкин, 2016). Примерами могут служить катастрофические землетрясения в районе Газлийского газового месторождения (Узбекистан) в 1976 г. и 1984 г. с магнитудами от 6,8 до 7,3, а также Нефтегорское землетрясение в 1995 г. на о. Сахалин с магнитудой 7,2-7,6. Такие землетрясения возникают вследствие существенного изменения пластового давления жидкости и газа через достаточно длительный период после начала эксплуатации нефтегазовых месторождений (от 15 до 30 лет). Наличие подобного «латентного периода созревания» является их характерной чертой (Николаев, 1999). В контексте рассматриваемой в монографии проблемы продолжительность латентного периода – это время образования реструктурированного техногенного тела, существование которого в данном случае и обуславливает возникновение «наведенной сейсмичности».

В качестве особого вида техногенной сейсмичности можно рассматривать попытки создать так называемое «тектоническое оружие», т.е. целенаправленное создание условий, для управляемого возникновения разрушительных землетрясений на территории противника (Адушкин, Козлов, 2010; 2011). Запуск триггера подобных искусственно провоцируемых сейсмических явлений и их последствия также можно рассматривать как процесс формирования в земной коре реструктурированных техногенных тел.

2.3.3. Экзогенная геодинамика

Влияние техногенных тел литосферы на процессы экзогенной геодинамики, называемые также экзодинамическими процессами

(Горшков, 1982), еще более заметно и распространено, чем их участие в процессах эндогенной геодинамики. Это находит отражение в широком спектре событий, большинство из которых относятся к категории «опасных», т.е. создающих угрозу для человека, его деятельности и, в большинстве случаев, способных нанести значимый экологический ущерб. На участках земной коры, занятых техногенными телами, экзогенные геодинамические процессы приобретает ряд специфических особенностей. По этим причинам они нередко представляют большую угрозу для жизни людей и окружающей среды, чем аналогичные процессы, протекающие в естественных массивах горных пород. Подобные образования можно рассматривать как **геодинамически опасные техногенные тела**.

Как показывает анализ имеющихся материалов, наиболее значимыми проявлениями экзогенных геодинамических процессов, в которых важную роль могут играть техногенные тела, являются (Котлов, 1977; Палиенко, 1978; Горшков, 1982; Картозия и др., 2001; Осипов и др., 2017)²³: - разуплотнение и разжижение; - оползни; - селевые потоки; - обвалы; - водная эрозия; - дефляция (ветровая эрозия); - абразия берегов (абразионно-аккумулятивные процессы); - суффозия и карст; - провалы земной поверхности; - оседания (проседания, просадки) земной поверхности; - разрушительное воздействие на породные массивы статической и динамической нагрузок, а также вибрации; понижение уровня подземных вод; - подтопление; - морозное пучение; - дефлюкция.

Эти явления нередко сопряжены между собой. Они представляют сложную систему, в которой возникновение одного

²³ Приведенный перечень не является исчерпывающим. Он включает процессы и явления, представляющие наибольший интерес с точки зрения основной проблемы, которой посвящена монография. В полном объеме «виды экзогенных опасностей» приводятся в их классификации, разработанной А.И. Шеко (2002).

процесса обусловлено развитием других (Шеко, 2003). Например, оползни и образование провалов могут являться следствием разуплотнения техногенных тел, возрастанием оказываемой на них статической нагрузки, а также происходящих в их толще процессов суффозии и карстообразования (табл. 2.1). Селевые потоки часто формируются на участках, подверженных интенсивной водной эрозии.

С.П. Горшков (1982) разделяет экзодинамические процессы, обусловленные человеческой деятельностью, на процессы-мероприятия и процессы-следствия. К первым он относит целенаправленные действия, целью которых является изменение земной коры. Их примером могут служить обработка полей, выпас скота, строительство, горные разработки, перемещение транспорта, захоронение отходов. Процессы-следствия – это изменения верхних слоев литосферы, косвенно спровоцированные человеческой деятельностью. В качестве их примера приводится модификация (по принятой в монографии терминологии – реструктуризация) участка земной коры вследствие статической нагрузки, обусловленной возведением на нем объекта капитального строительства. Практически любое крупномасштабное техногенное тело изменяет естественный характер процессов экзогенной геодинамики не только на участке своего размещения, но и в окружающем его пространстве, формируя «зону техногенного влияния». Подобные явления также рассматриваются как процессы-следствия.

Во многих случаях развитие процессов экзогенной геодинамики приводит к изменению земной поверхности, служащей средой обитания человека и других организмов. В подобной ситуации геодинамическая экологическая функция неотделима от рассмотренной ранее георесурсной функции литосферы (ее топического аспекта).

Основным внешним фактором, обуславливающим развитие процессов экзогенной геодинамики, является воздействие на

верхние слои земной коры воды (Зверев, Костикова, 2007). Менее значимым является воздействие ветра. Техногенные факторы нередко прямо или косвенно активизируют эти процессы, способствуют увеличению их скорости и масштабов (Круподеров и др., 2007; Крестин и др., 2009). Поэтому, все чаще современные геологические экзогенные процессы, протекающие даже на участках земной коры, непосредственно не затронутых человеческой деятельностью, можно рассматривать как явления природно-техногенного генезиса, т.е. явления, обусловленные сочетанием воздействий естественных причин и человеческой деятельности²⁴. Именно этой причиной обусловлена глобальная тенденция повышения распространенности и опасности последствий экзогенных геологических процессов. Основное значение имеют два фактора. Первый из них – это нарушение устойчивости земной поверхности в результате неуклонного расширения и *углубления* ее *техногенеза*. Все чаще экзогенные геологические процессы связаны с образованием и трансформацией техногенных тел, вызывающих

²⁴ Для разделения экзодинамических процессов на техногенные (антропогенные) и природно-техногенные (природно-антропогенные) предлагались различные критерии. Так, по мнению Э.Т. Палиенко (1978) антропогенные процессы вызывают изменения в динамике земной коры и свойствах горных пород, которые не могут произойти без вмешательства человека. Природно-антропогенные процессы, это процессы природного характера, которые человеческая деятельность провоцирует или ускоряет. Аналогичные суждения высказывались и Ф.В. Котловым (1978). С.П. Горшков (1982) основным критерием считал характер источника энергии, под воздействием которого происходят изменения земной коры. Согласно его взглядам, антропогенные экзодинамические процессы – это процессы, происходящие, главным образом, благодаря расходованию энергии контролируемых человеком источников. В отличие от этого вклад человеческой деятельности в энергетику природно-антропогенных процессов менее значим по сравнению с затратами энергии из естественных источников. Они происходят при разрушении человеком природных резервуаров энергии и нарушении природных энергопотоков.

снижение устойчивости земной коры. Второй фактор – это происходящие на современном этапе **глобальные изменения климата**, которые сопровождаются усилением воздействия гидрометеорологических факторов на окружающую среду во многих регионах планеты. Данные явления (увеличение объема атмосферных осадков, частоты и силы паводков, усиление ветров и др.), помимо прочего, обуславливают интенсификацию процессов экзогенной геодинамики.

Кратко рассмотрим значение техногенных тел в перечисленных выше проявлениях экзогенных геодинамических процессов:

Разуплотнение – это происходящее в силу разных причин изменение слоя земной коры, обусловленное появлением в ней значительного количества небольших по своим размерам (часто микроскопических) пустот, которые могут заполняться рыхлым материалом или водой (Картозия и др., 2001). В последнем случае может произойти **разжижение** грунтов и горных пород, сопровождающееся полной или частичной утратой их несущей способности и возможностью перехода в текучее состояние, т.е. приобретение ими плавучих свойств (Осипов, 2002). При этом одновременно с ростом объема и снижением плотности геологических тел происходит ослабление их прочности и устойчивости к внешним воздействиям. Практически все случаи, когда разуплотнение или разжижение горной породы происходит в результате человеческой деятельности, например, при горных ударах, можно рассматривать как проявление техногенеза земной коры, точнее, как процесс возникновения реструктурированного техногенного тела.

В скальных породах техногенное разуплотнение выражается в образовании трещин. Результатом может стать отслаивание и вывалы блоков пород от стенок и свода в подземных выработках. Для глинистых пород характерным признаком разуплотнения

является их набухание и разжижение, обусловленное повышением водопроницаемости (иногда в несколько раз). Образующиеся при этом техногенные тела превращаются в двухфазные и приобретают способность перемещаться в пространстве. В результате возникает угроза возникновения *пльвунов* и их прорыва в горные выработки и подземные сооружения.

Оползни – это смещение горных пород вниз по склону без потери контакта между смещающимися и остающимися неподвижными пластами. Образующийся язык оползня способен покрыть значительные участки, уничтожив существовавшие на них экосистемы, обусловить масштабное загрязнение (например, при попадании материала оползня в водотоки), разрушить сооружения и коммуникации. Таким образом, экономический и экологический ущерб от подобных событий может быть весьма ощутим.

Образование оползней весьма характерно для поверхностных техногенных тел, обладающих меньшей устойчивостью, чем естественные возвышения рельефа. Например, они нередко образуются на отвалах пустой породы и крупномасштабных массивах отходов промышленных предприятий (Бахаева, Дубинин, 2016). В большинстве случаев это происходит в форме оползания откоса, образовавшегося из поверхностного техногенного тела (рис. 2.4), под воздействием его обводнения, например, в периоды выпадения обильных атмосферных осадков или в результате воздействия грунтовых вод.

Особенно часто оползни происходят и при несоблюдении нормативов, устанавливающих правила формирования полигонов твердых бытовых отходов, главным образом углы заложения откосов (Казакова, 2018). Так, на одном из этих объектов, расположенном Кемеровской области, с крутыми откосами (порядка 45°) наблюдалось мгновенное перемещение массива отходов массой около 600 тыс. тонн.

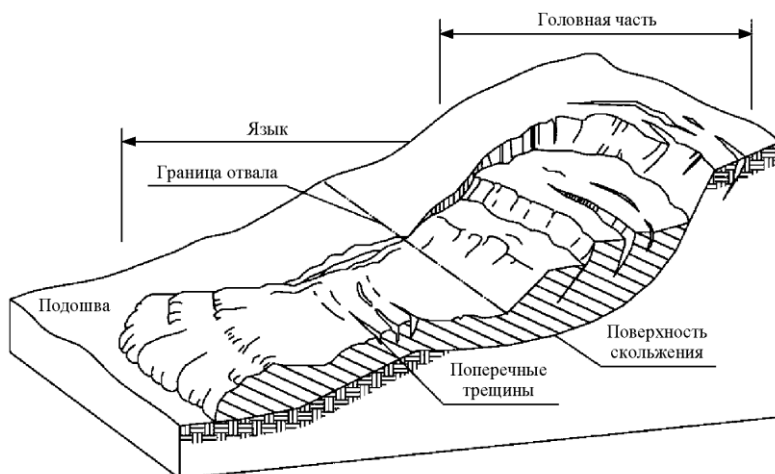


Рисунок 2.4. Оползание откоса поверхностного техногенного тела, образовавшегося из отвалов (Бахаева, Дубинин, 2016)

По этим причинам крупномасштабные скопления твердых бытовых отходов высотой более 10 м следует рассматривать как геодинамически опасные техногенные тела. Известны случаи, когда их самопроизвольное разрушение сопровождалось человеческими жертвами. Так, г. Коломбо (Шри-Ланка) в апреле 2017 г. с образовавшегося огромного скопления хозяйственно-бытовых отходов, достигшего высоты более 90 м, сошел мусорный оползень, накрывший десятки жилых домов и вызвав гибель 29 человек (Федорский и др., 2018). Существуют и иные механизмы возникновения оползней на основе образования техногенных тел. Например, в окрестностях шахтерского города Гандлова (Словакия) на почву в течение длительного времени оседала зола, образующаяся сжигания бурого угля (Леггет, 1976). Это привело не только к изменению состава химического состава грунтов, но и их фильтрационных свойств. Таким образом, длительное выпадение

угольной золы вызвало образование поверхностного техногенного тела, в значительно большей степени подверженного оползнеобразованию. Эта угроза реализовалась в период обильных дождей в декабре 1960 г., что привело к разрушению 150 домов.

Селевой поток или сель – это движущийся со значительной скоростью поток грязи, камней и крупных обломков, возникающий в результате выпадения обильных атмосферных осадков, бурного таяния снегов или прорыва плотин и дамб. Материал селя представляет собой нечто среднее между твердой и жидкой массой. Так, селевые потоки возникают при прорывах хвосто- и шламохранилищ с полужидкими отходами (Николаева и др., 2012). Они также могут образовываться при размыве других видов техногенных тел. Например, 21 октября 1966 г. по пос. Аберфан (южный Уэльс) со скоростью 32 км/ч сошел сель, образовавшийся на расположенном близи шахтном терриконе (Леггет, 1976). Он поглотил ферму, школу и несколько домов. В результате погибло 144 человека, из них 116 детей. В Киеве в марте 1961 г. сель образовался из техногенного тела, образовавшегося в овраге Бабий Яр (Котлов, 1978). В нем в течении длительного периода скапливалась пульпа, сбрасываемая из расположенных поблизости кирпичных заводов. Ее объем достиг 4 млн м³. Образовавшийся из части этой массы намытого материала селевой поток объемом 700 тыс. м³, двигаясь со скоростью 5 м/с, затопил 25 га городской территории. В большинстве случаев схождение селей сопровождается не только экономическим, но и значительным экологическим ущербом.

Под **обвалом** в геологии понимают внезапное обрушение горных пород с потерей контакта со склоном, сопровождающееся дроблением и перемешиванием их материала и его хаотическим накоплением у подошвы склона (Шеко, 2002). Эти опасные явления достаточно характерны для поверхностных техногенных тел, элементы которых слабо связаны между собой. Так, обвалы часто происходят на полигонах твердых бытовых отходов. Их причины те

же, что и при образовании оползней – например, нарушение углов заложения откосов (Казакова, 2018). Последствия подобных событий не менее могут быть трагичны. Например, в марте 2017 г. в пригороде Аддис-Абебы (Эфиопия) обвал мусорной свалки, накрывший несколько жилых домов, унес жизни более 60 человек (Федорский и др., 2018).

Водная эрозия, т.е. разрушение поверхности потоками воды у техногенных тел также нередко происходит в несколько раз интенсивнее, чем в естественных условиях. Например, весьма высока скорость эрозии отвалов строительного мусора (Ивонин, Егошин, 2014). Интенсивность водной эрозии на отвалах угольных шахт Донбасса после окончания их формирования превышает 150 т/га (Зубова и др., 2010). Потоки воды, выносящие различные компоненты эродируемых техногенных тел во многих случаях характеризуются высокой токсичностью. Их распространение в среде вызывает деградацию экосистем, а попадание содержащихся в них веществ в источники питьевого водоснабжения представляет опасность для здоровья людей.

Поверхностные техногенные тела также в большей степени, чем естественные участки земной коры подвержены и **ветровой эрозии (дефляции)**. Для их обозначения Ф.В. Котлов (1978) использовал термин «антропогенная кора выветривания». Масштабы дефляции техногенных тел значительны. Характерная для многих из них слабая связность слагающих материалов, приводит к тому, что данной процесс приобретает характер **пыления**, т.е. интенсивной дефляции, при которой за короткий промежуток времени в атмосферу поступает большое количество аэрозолей из мелких частиц твердого вещества (пыли). Так, на отвалах, неэксплуатируемых угольных шахт Донбасса, за год с 1 га поверхности выносятся 667 тонн составляющего их материала (Зубов и др., 2012). Значимым экологическим фактором является

дефляция и в районе Курской магнитной аномалии (КМА) (Петина и др., 2016). Значительная часть ее территории покрыта отвалами, сформировавшимися в предшествующий период в процессе добычи полезных ископаемых. Интенсивная дефляция (пыление) этих поверхностных техногенных тел иногда выражается в форме пыльных бурь, загрязняющих атмосферу вредными веществами. В результате накопления продуктов дефляции техногенных тел могут образовываться вторичные техногенные тела и структуры. Так, в нижней части некоторых горных отвалов таким образом формируются осыпи мощностью до 30 м (Котлов, 1978).

Абразия – это разрушение берегов под действием волн и в связи с изменением уровня водного объекта. Это сложное явление, состоящее из ряда отдельных процессов: размокание, силовое воздействие воды на размываемое геологическое тело, выщелачивание из него растворимых солей, обрушение и оползание берегов (Шеко, 2002). Материалы, возникшие в процессе абразионного разрушения, обычно накапливаются (аккумулируются) в прибрежной зоне, изменяя ее геоморфологию. Эти два процесса (абразия и аккумуляция) неразрывно связаны и нередко обозначаются как **абразионно-аккумулятивные процессы**. Продукты абразионного разрушения, как правило, накапливаются на том же участке, где происходит абразия.

Абразии подвержены все прибрежные и островные техногенные тела, если они не изолированы от воды специальными сооружениями. При их отсутствии абразионные процессы идут значительно более интенсивно, а их результаты более экологически значимы, чем при аналогичном воздействии на естественные горные породы, слагающих берега водных объектов. Быстро разрушающиеся при контакте с водой и интенсивно выщелачиваемые горные породы на естественных берегах водных объектов, как правило, отсутствуют. Совершенно иная ситуация

складывается, когда берег создается искусственно из материалов, ранее не контактировавших с водной средой. В этом случае их частичное абразионное разрушение (выщелачивание) может протекать весьма бурно. Результатом такого процесса станет возникновение гидрохимической аномалии, способной значительно ухудшить качество водной среды и вызвать гибель водных организмов.

Интенсивность абразии берегов может значительно возрастать в результате строительства различных гидротехнических сооружений (молов, плотин и др.), изменяющих естественный гидродинамический режим акватории (Артюхин, 1989; Айбулатов, Артюхин, 1993). Для борьбы с этим явлением, особенно в тех случаях, когда разрушение берега угрожает каким-то наземным объектам, предпринимается отсыпка терригенного материала (Чечко и др., 2008). Таким образом, интенсивная абразия в ряде случаев стимулирует деятельность по формированию прибрежных техногенных тел.

Суффозия – это механический вынос частиц горных пород потоком подземных вод (Хоменко, 2002). **Карст** представляет собой процесс растворения (выщелачивание) компонентов горных пород подземными и поверхностными водами (Кутепов и др., 2002а), его иногда называют химической суффозией в отличие от механической суффозии. Оба эти процесса приводят к образованию в земной коре пустот различного размера от микроскопических до протяженности в сотни метров. Нередко развитие суффозионных явлений и карстообразования влечет большой экологический и экономический ущерб. На участках интенсивной суффозии и карста во многих случаях возникают оползни, провалы и проседания земной поверхности, происходит разрушение зданий и сооружений (Камалов, 2021б). В целом техногенные тела подвержены суффозионному и карстовому разрушению в большей степени, чем естественные, поскольку обладают меньшей механической

прочностью и большим количеством водорастворимых компонентов.

Интенсивность карстового процесса может возрасти за счет фильтрации в подземные горизонты промышленных сточных вод, содержащих химически агрессивные вещества (Котлов, 1978; Мохонько, 2015). Это связано с тем, что скорость переноса загрязнений в карстовых водах в несколько раз выше, чем в обычных водоносных горизонтах (Толмачёв, 2012). По этой причине подобные явления могут охватывать значительные участки земной коры, распространяя вредные вещества на десятки километров от источников загрязнения. Сопровождающая подобные явления физико-химическая трансформация земной коры приводит к образованию техногенных тел, отличающихся по своим свойствам от естественных, из которых они возникли.

Суффозионные и карстовые процессы в урбанизационных и селитебных техногенных телах резко активизируются в результате протечек подземных коммуникаций. В этих случаях происходит наложение двух разрушительных факторов – подземного потока воды и подверженного механическому и химическому разрушению техногенного материала, окружающего текущие трубопроводы. Это приводит к катастрофическому результату – образованию в короткий срок подземных пустот и последующих провалов. Особую опасность для людей представляет незаметное развитие подобных явлений в запечатанных телах, сформированных под асфальтобетонными покрытиями.

Разрушительное воздействие на породные массивы статической и динамической нагрузок, а также вибрации.

Статическая нагрузка, например, возникает при постоянном воздействии веса сооружений на расположенные под ними горные породы. Динамические нагрузки – это аналогичные воздействия переменной силы. Если они осуществляются с определенной частотой, то рассматриваются как вибрационные воздействия. Под

действием статических нагрузок, обусловленных весом сооружений, могут образовываться осадочные воронки, которые распространяются за их пределы на десятки метров (Картозия и др., 2001). Постоянная статическая нагрузка объема воды водохранилища на земную кору и динамические движения ее масс нарушают не только прибрежные поверхностные отложения, но и оказывают влияние на более глубоко залегающие породы, меняя их структуру, т.е. превращают их реструктурированные техногенные тела.

Вибрация, вызываемая человеческой деятельностью, может стать причиной нарушения строения отдельных участков литосферы, в результате чего также могут возникнуть неустойчивые реструктурированные техногенные тела. Поэтому, некоторые авторы определяют вибрацию как «искусственное землетрясение некатастрофического характера» (Картозия и др., 2001). Так, вокруг огромного водоема, образованного плотиной Гувер на р. Колорадо в США (оз. Мид), сейсмографы уже зарегистрировали несколько сотен слабых землетрясений, которые возникли из-за образования трещин под вибрационным воздействием в окружающих породах. Этот процесс может сопровождаться проседанием земной поверхности, создавая угрозу для зданий и сооружений. Подобные явления обычно происходят в течение достаточно продолжительного времени. По этой причине источник вибрации до определенного момента не воспринимается как опасный фактор. Но как показывает практика, игнорирование этих явлений может привести к весьма нежелательным последствиям. Так, вибрации городского транспорта могут проникать на глубину до 70 м. В некоторых городах Нидерландов, это привело к тому, что примыкающие к старым автострадам дома, постепенно наклонились в сторону шоссе.

Провал – это быстропротекающее обрушение горных пород, слагающих земную поверхность над какой-либо находящейся в ней

полостью (Кутепов и др., 2002б). Провалы земной поверхности, связанные с существованием и трансформацией техногенных тел возникают по нескольким причинам. Во-первых, в результате деформации массива горных пород над обрушивающимися подземными горными выработками. Напомним, что участки недр, соприкасающиеся с ними и испытавшие воздействие горнотехнической деятельности, рассматриваются в монографии как реструктурированные техногенные тела. Такие провалы называются «воронками обрушения» (Славиковский и др., 2010) или «провальными воронками» (Пасечник, 1977). Подобные события могут существенно изменить рельеф местности, вызвать возникновение различных аварий и серьезно ухудшить экологическую ситуацию. В России наиболее опасные явления подобного рода происходили в районе Верхнекамского месторождения (Пермский край) (Осипов, 2016; Осипов и др., 2016). Подземная добыча калийных солей привела к реструктуризации массивов пород соляных и надсоляных толщ, сопровождавшейся деформациями, разрушением и затоплением этих выработок. Это стало причиной активизации карстового процесса и образования огромных провалов. Один из них, возникший 28 июня 2008 г., имеет размеры 300 × 400 м, глубину – 80 м, объём – 8.6 млн. м³. Крупные провалы, представляющие собой воронки диаметром более 90 м образуются в результате обрушения пустот (камер), возникших при подземных ядерных взрывах.

Во-вторых, провалы могут возникнуть при образовании пустот в запечатанных и подповерхностных техногенных телах, материал которых, как правило, более подвержен разрушительному воздействию суффозионных и карстовых процессов, чем у естественных геологических образований. Их примером могут служить запечатанные тела, образовавшиеся из бывших городских свалок (рис. 2.5).

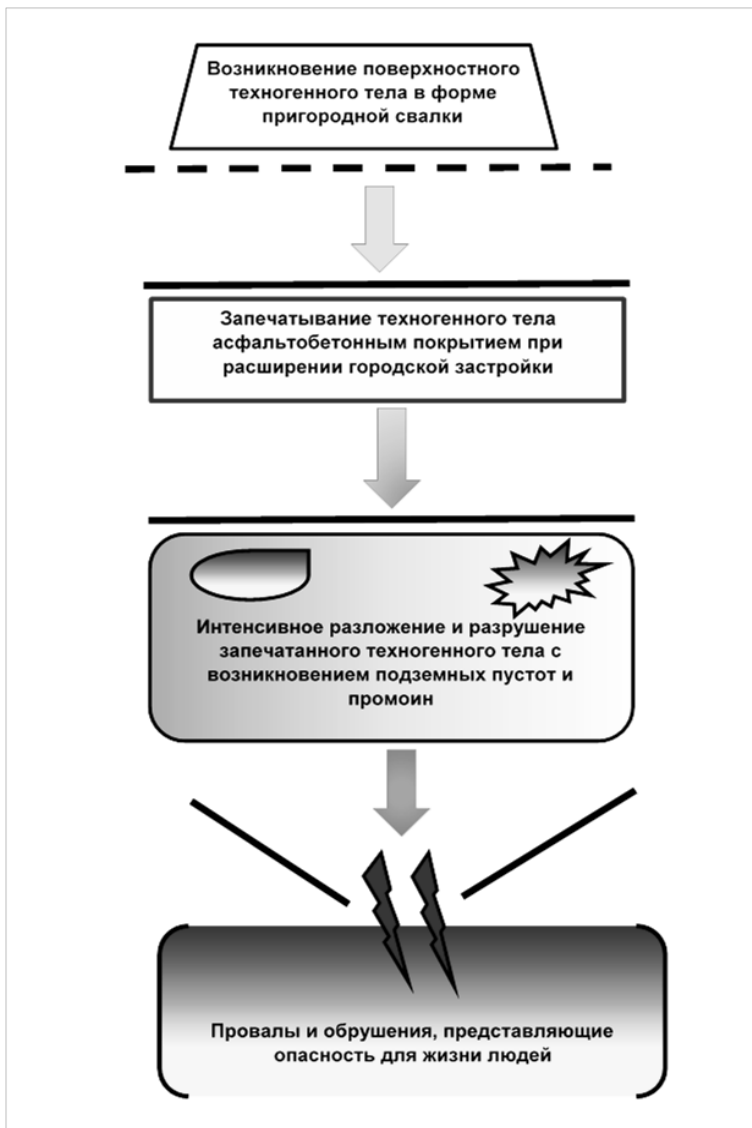


Рисунок. 2.5. Механизм образования провала на участке запечатанной городской свалки

Особенно опасно, когда подобные полости возникают под асфальтобетонными покрытиями и провалы образуются неожиданно на участках, часто посещаемыми людьми. Причиной суффозии и карста в таких случаях нередко являются протечки в подземных участках систем водоснабжения. В целом потери из систем водоснабжения в России оценивались как 35-45% (Зекцер, 2001). Аналогичная ситуация наблюдается и ряде других стран. Так, в США утечки их старых подземных водопроводов достигают 30% объема.

В Москве за последние 20 лет наблюдалось более 200 техногенных провалов, создавших угрозу для автомобилей и даже жилых домов (Кучуков и др., 2016). Например, 24 сентября 2006 г. на ул. Королева в результате прорыва магистральной трубы холодного водоснабжения на асфальтовом покрытии образовался провал, поглотивший два автомобиля (Кучуков и др., 2011). Аналогичные события в Москве происходили на Ленинградском проспекте и Ленинградском шоссе, на Трубной площади, Минской улице, а также в районе «Бутово» где в образовавшийся провал попали 3 легковых автомобиля и автофура. Провалы под асфальтобетонными покрытиями в рыхлых запечатанных техногенных телах, спровоцированные утечками из подземных систем водоснабжения в последние годы отмечались и в других российских городах (Зимица, Суханов, 2018).

Оседание земной поверхности – это явление, заключающееся в относительно медленном понижении ее уровня. Причины оседаний, как и провалов могут быть различными, в т.ч. это может быть сопряжено с образованием техногенных тел. Например, они могут быть связаны с глубинными реструктурированными техногенными телами, возникшими при добыче полезных ископаемых. Так, факты оседания земной поверхности до нескольких метров зафиксированы в районах 130 разрабатываемых нефтегазовых месторождений (Мельников и др., 2009; Мельников, Калашник,

2010). Оседания также наблюдались близ г. Сан-Франциско (США) на крупном нефтяном месторождении (Marsden, Davis, 1967). В этом районе к 1957 г. земная поверхность опустилась почти на 8 м. Возникло своеобразное эллиптическое прогибание площади 10 x 65 км. Это сопровождалось разрушением зданий, мостов, дорог и промышленных сооружений. Ущерб превысил 100 млн. долларов.

Оседания возникают и в результате **понижения уровня подземных вод** при их интенсивном использовании. В настоящее время под многими городами мира по этой причине образовались глубокие депрессионные воронки диаметром в десятки километров и глубиной в десятки, а иногда и сотни метров (Новиков, 1976; Котлов, 1977). Впоследствии подобные участки могут заболачиваться, накапливать загрязненные воды поверхностного стока, что приводит к ухудшению экологической и санитарно-эпидемиологической ситуации.

Опасные экзогенные геодинамические процессы (оползни и др.) могут быть спровоцированы **подтоплением территорий**, т.е. подъемом уровня грунтовых вод в результате различных видов человеческой деятельности (Попов, Серяков, 2006; Галкин и др., 2007). Одной из распространенных причин являются утечки из подземных водонесущих коммуникаций, которые практически всегда находятся в толще техногенных тел, нередко возникших в процессе их прокладки. Так, в результате утечек воды из коммунально-бытовых сетей подъем уровня грунтовых в Москве местами повысился на несколько метров (на некоторых участках до 6 м) и находится от 2 до 3 м и менее от земной поверхности (Арефьева, Мирмович, 2007). В целом подтоплению подвержено до 35% городской территории. В некоторых других российских городах эти явления выражены еще сильнее: в Ростове на-Дону отмечен подъем уровня грунтовых вод на 25-27 м, Волгодонске – на 15-20 м, в Челябинске и Волгограде – на 12-13 м, в Саратове – на 10 м.

Подъем уровня грунтовых вод Восточного Донбасса был вызван закрытием и затоплением угольных шахт, геологическая среда вокруг которых рассматривается в монографии как один их видов техногенных тел – реструктурированные ствольные техногенные тела. За пять лет общая площадь подтопления увеличилась в 64 раза (с 0,35 до 20,58 га) (Закруткин и др., 2010).

Подтопление подземными водами может вызвать возникновение обширного комплекса опасных процессов и явлений (Попов, Серяков, 2006):

1) происходит обводнение грунтов и горных пород нередко становится причиной аварийной деформации зданий и сооружений, приводит к разрушению подземных и наземных коммуникаций²⁵;

2) наблюдается капиллярное увлажнение нижних частей каменных конструкций зданий (иногда до уровня их до второго этажа), что вызывает возникновение сырости в помещениях, которая при широком распространении превращается в значимый фактор ухудшения социальных и экологических, условий жизни городского населения;

3) происходит затопление подвалов и заглубленных помещений и в образующихся таким образом *техногенных скоплениях вод* возникает благоприятная среда для возбудителей ряда заболеваний и их переносчиков (кровососущих комаров) (Суздалева и др., 2015), что приводит к ухудшению санитарно-эпидемиологической обстановки;

4) вследствие изменения химического состава подземных вод (в результате выщелачивания компонентов подтапливаемых пластов) может повышаться агрессивность подземных вод, их

²⁵ Помимо прочего, это может провоцировать аварии на водопроводных и канализационных сетях, сопровождающихся подземными утечками, усиливающими подтопление.

разрушительное воздействие на фундаменты и подземные конструкции;

5) при подтоплении повышается коррозионная активность грунтов вследствие их обводнения и перехода в растворенное состояние их компонентов²⁶, что также вызывает ускоренное разрушение подземных конструкций;

6) подъем грунтовых вод поверхностные горизонты почв и грунтов вызывает заболаченность территорий, что приводит к деградации растительности и также создает условия для размножения кровососущих насекомых, являющихся переносчиками инфекционных заболеваний.

В ряде случаев техногенное подтопление может вызвать образование линз из насыщенных растворенными веществами вод (рассолов), которые можно рассматривать как *жидкие техногенные тела*. Обводнение подповерхностных и запечатанных техногенных тел может также сопровождаться их превращением из твердых в двух- или полифазные тела, в т.ч. в так называемые «*пывуны*», опасность которых общеизвестна.

Морозное пучение возникает при замерзании водонасыщенных грунтов и горных пород, что сопровождается увеличением их объема. Этот вид экзогенных геодинамических процессов в настоящее время также бывает связан с человеческой деятельностью. Например, в городах обводнение верхних горизонтов подстилающих горных пород и грунтов (в т.ч. при утечках из систем водо- и теплоснабжения) при их последующим промерзании нередко сопровождается морозным пучением, вызывающим деформацию асфальтового покрытия, а иногда и

²⁶ Значимость данного фактора может существенно возрасти при подтоплении техногенных грунтов на урбанизированных территориях, в составе которых может содержаться значительное количество химически активных веществ.

разрушение зданий и сооружений (Галкин, 2006). Данный процесс можно рассматривать как образование особого вида урбанизационных техногенных тел, которые можно назвать **криотехногенными**. Развитию подобных явлений способствует уборка снега (Достовалов, Кудрявцев, 1967). Это связано с тем, что снежный покров, обладая термоизоляционными свойствами, снижает глубину сезонного промерзания грунтов. Например, в Москве на не покрытых снегом участках она увеличивается на 0,5-1,5 м (Котлов, 1977).

Дефлюкция или **крип** (от англ. «сгеер» – ползти) – это медленное передвижение верхнего слоя относительно тонкого слоя почвы или грунта вниз по склону, которое, как правило, не затрагивает его основной массы. В природных условиях подобные явления обычно возникают при переувлажнении почвенного покрова на возвышенностях. На урбанизированных территориях дефлюкция характерна для рекультивированных склонов, когда незакрепленный или недостаточно закрепленный на их поверхности искусственно созданный плодородный слой (реплантозем), постепенно сползает вниз. Такие явления менее опасны, чем обвалы и оползни, но также могут иметь весьма нежелательные последствия. Например, создать аварийную ситуацию на железнодорожных путях и автотрассах.

Обобщая материалы, изложенные в данном разделе, можно сделать следующие выводы:

1. Процессы экзогенной геодинамики в техногенных телах, как правило, протекают более интенсивно, чем в естественных массивах горных пород. Это обусловлено одним из указанных в разделе 1.1 их характерных свойств – меньшей устойчивостью к воздействию внешних факторов.

2. В тех случаях, когда причиной экзогенных процессов являются прямые или косвенные последствия человеческой деятельности, их результатом становится образование новых техногенных тел.

Таким образом, возникновение техногенных тел, с одной стороны стимулирует развитие опасных экзогенных процессов. С другой стороны, в ходе этих процессов возникают новые техногенные тела. Благодаря этому при определенных условиях может образоваться цепочка взаимообусловленных опасных явлений. Например, гипотетически можно представить следующий комплекс сопряженных опасных явлений (рис. 2.6). Проведение буровзрывных работ вызывает разуплотнение грунтов и горных пород, стимулируя образование селевых потоков. Аккумуляция материала этих потоков способна создать скопления вещества, представляющего собой техногенное тело, на основе которого образуются оползни. Их сход может образовать преграды на пути распространения водных потоков и привести к потоплению территории, развитию суффозии и карста, сопровождающихся возникновением пльвунов, подземных промоин, оседаний земной поверхности и провалов.

Следует также обратить внимание на то, что в некоторых случаях опасные экзогенные геодинамические процессы развиваются уже после того, как деятельность, в результате которой возникли техногенные тела (спровоцировавшие развитие данных процессов), уже прекратилась. Иногда подобные образования в соответствии с классификацией, представленной в разделе 1.4, можно отнести к категории «исторических техногенных тел». В подобной ситуации происходит частичная потеря ответственности и утрата контроля за развитием нежелательных событий, что осложняет своевременную разработку мер по их предупреждению. Так, на базе карьерных отвалов Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината (Кабардино-Балкария), не работающего уже более 10 лет, выявлено 10 новых оползневых и около 20 селевых бассейнов, причем во всех них отмечается активизация опасных экзогенных процессов (Кюль, Борисова, 2015).

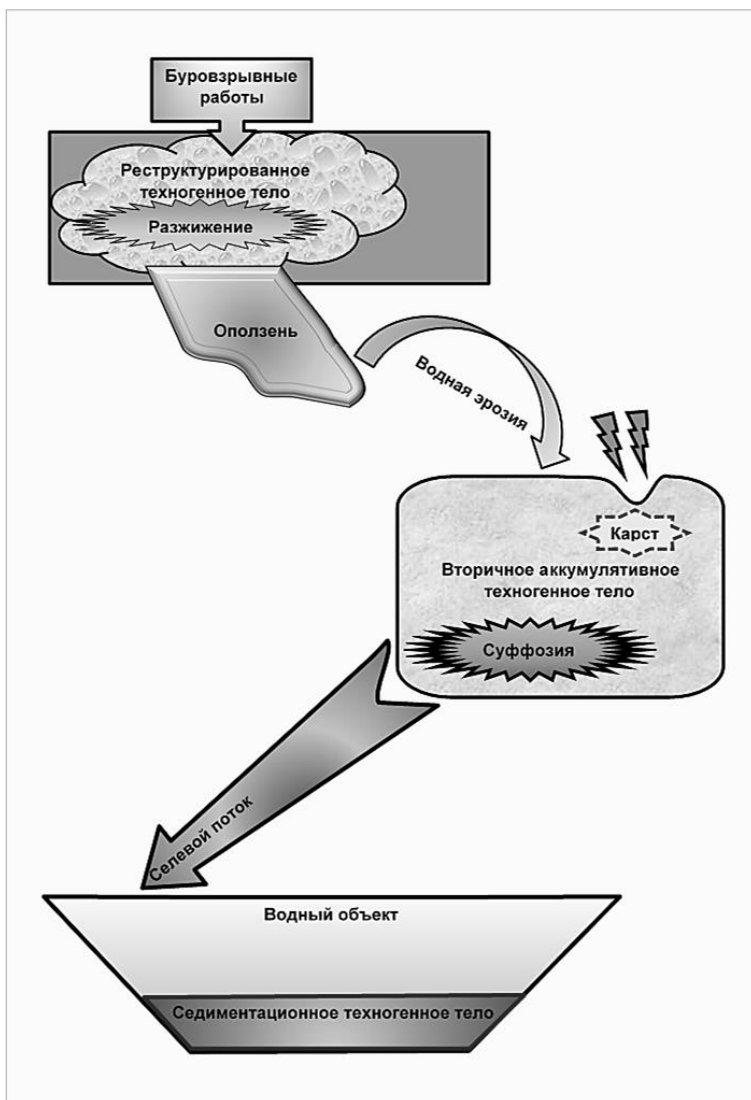


Рисунок 2.6. Гипотетическая цепь взаимообусловленных процессов возникновения техногенных тел и развития опасных экзогенных геологических явлений

2.4 ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ

2.4.1. Роль техногенных тел в формировании химизма окружающей среды

Химизм окружающей среды²⁷ – это важнейший фактор среды обитания водных, почвенных и наземных организмов, а также среды обитания и условий жизнедеятельности человека. Структурно-функциональная организация экосистем и характер пространственного распределения их отдельных видов, во многом определяется особенностями геохимической провинции, в пределах которой они развиваются.

Химизм среды всегда оказывал значимое влияние на здоровье населения, а также характер его деятельности. Так, на участках, удаленных от моря, возникала угроза развития болезней, обусловленных дефицитом йода. «Мягкая вода» с низким содержанием минеральных солей способствовала возникновению у людей кариеса зубов. Урожайность сельскохозяйственных культур также практически всегда тем или иным образом связана с геохимическими процессами.

Образование в литосфере многочисленных видов техногенных тел еще больше повысило значимость геохимической экологической функции литосферы. К наиболее важным явлениям в данном случае следует, прежде всего, отнести:

- создание условий для образования в земной коре новых, ранее не встречавшихся так называемых **«техногенных минералов»** и **«техногенных горных пород»**, воздействие которых на живые организмы еще не исследовано;

²⁷ Согласно общепринятому определению, химизм – это химическая природа какого-нибудь вещества, явления, процесса. В соответствии с этим под химизмом окружающей среды в монографии понимается ее химический состав в совокупности с процессами, условиями и факторами его формирования.

- возникновение в местах их залегания, так называемых техногенных геохимических барьеров;
- образование техногенных геохимических и биогеохимических аномалий (провинций);
- нарушение естественных геохимических (биогеохимических) циклов в результате процессов образования и трансформации техногенных тел.

Следует отметить, что все эти явления представляют собой различные аспекты техногенной трансформации химических процессов, протекающих в литосфере. Они тесно взаимосвязаны и их разграничение носит условный характер, необходимый для систематизации наблюдаемых явлений и их абстрагированного анализа. Так, существование геохимических барьеров неразрывно связано с повышением содержания на данном участке каких-то химических элементов, т.е. закономерно влечет возникновение геохимической аномалии. Часть этих элементов может находиться в форме соединений, которые в естественных условиях не образуются. Но именно свойствами этих новых соединений (например, их плохой растворимостью в воде, устойчивостью к химическому или биохимическому разложению) может обеспечиваться возможность выполнения техногенным телом как функции геохимического барьера.

Пространственное перераспределение скоплений вещества, слагающего земную кору, изменение характера и скорости его трансформации, обусловленное возникновением техногенных геохимических аномалий и барьеров, не может не сказаться на глобальном круговороте химических элементов. Эти аномалии и барьеры являются ничем иным, как новыми, не встречавшимися ранее в естественных условиях звеньями геохимических (биогеохимических) циклов.

Вместе с тем, перечисленные аспекты участия техногенных тел в геохимической экологической функции литосферы требуют для

изучения особых методологических подходов и представляют собой отдельные объекты исследований. По этой причине каждому из них в монографии посвящен отдельный раздел.

2.4.2. Техногенные минералы и техногенные горные породы

Экологические последствия возникновения техногенных минералов и горных пород, их роль в геохимической функции литосферы в конкретных случаях могут носить различный характер. Некоторые из них, обладая высокой токсичностью, представляют опасность для живых организмов и человека. Другие могут стать сырьем, пригодным для использования в различных сферах деятельности.

Общепринятого определения термина *техногенные минералы* в настоящее время еще не существует. В широком смысле под ними понимают обширную группу вещественных образований, возникших:

- как результат производственного процесса;
- в процессе техногенной трансформации естественных горных пород;
- в ходе диагенеза или гипергенеза, находящихся в окружающей среде техногенных материалов, в т.ч. техногенных месторождений (Язиков и др., 2011).

Таким образом, понятие техногенные минералы объединяет объекты различного происхождения, образующиеся в принципиально отличных условиях и под воздействием как техногенных, так естественных факторов. По этой причине разнообразие техногенных минералов чрезвычайно велико. Так, количество их форм, обнаруженных только в техногенных месторождениях, превышает 30000 (Чантурия, Корюкин, 1998; Макаров, 2000). Это почти на порядок больше числа известных к настоящему времени природных минералов (около 3300). Десятки

техногенных материалов образуются при горении отвалов угольных месторождений (Потапов, 2016).

Вероятно, что в процессе дальнейшего исследования техногенных тел, в них будет обнаружено и описано еще много ранее неизвестных минералов. Можно также ожидать, что ранее неизвестные техногенные минералы также будут возникать и при внедрении в практику новых технологических процессов.

К настоящему времени уже существует несколько разных классификаций техногенных минералов, ни одну из которых нельзя пока рассматривать в качестве приоритетной. Предлагавшиеся системы выделения их отдельных категорий основываются, главным образом, на характере технологических (Реслер, 1981; Фекличев, 1997) или природно-техногенных (Каздым, 2001; Глаголев, 2008) процессов, приводящих к образованию новых минеральных образований. Классификация техногенных минералов, наиболее полно отражающая многообразие их категорий предложена Е.Г. Языковым с соавторами (2011). В ней выделяются следующие группы минералов:

1. Минералы, образующиеся исключительно вследствие процессов техногенеза, и не обнаруженные до настоящего времени в естественной среде на Земле, а также других космических телах (в пробах грунта с Марса и Луны, а также в метеоритах). Для их обозначения можно предложить термин **«эутехногенные минералы»** (греч. приставка «эу-» означает истинный, настоящий). Примером может служить минерал, обнаруженный в горелых отвалах Челябинского угольного бассейна и получивший название «армолколит» (Чесноков и др., 1998).

2. Минералы, образующиеся в результате термического воздействия на различные материалы или при воздействии высокого давления, прямо или косвенно обусловленного человеческой деятельностью. Для краткости их можно обозначить

как **термотехногенные, баротехногенные и термобаротехногенные минералы**. В качестве их примера можно рассматривать обширный спектр веществ, образующийся при горении угольных отвалов (Чесноков, 1997).

3. Минералы, возникающие в ходе гипергенных или диагенетических техногенных и природно-техногенных процессов, происходящих в толще или на поверхности техногенных образований. Поскольку эти процессы носят длительный и, как правило, многофазовый характер, эту группу можно назвать **метатехногенные минералы** (греч. приставка «мета-» – означает между, после, через»).

4. Минералы, нехарактерные для горных пород (грунтов) данной территории (климатической зоны), которые могли образоваться в ее пределах только в результате техногенных или природно-техногенных процессов. По этой причине их можно обозначить как **ксенотехногенные минералы** (греч. приставка «ксено-» – придает понятию значение чужеродный, чужой).

5. В научной литературе также встречается термин **«условно техногенные минералы»** – минералы, «оторванные» производственными процессами от своего естественного положения (Фекличев, 1997). К ним, вероятно, можно отнести некоторые продукты переработки горных пород, в процессе которой происходит их разделение на составляющие минералы.

Отдельные виды техногенных минералов редко формируют основную массу техногенного тела. Обычно они встречаются в форме компонентов или включений. Устойчивое сочетание нескольких видов техногенных минералов, образующееся при определенных условиях и существующее как структурный элемент литосферы можно рассматривать как **техногенную горную породу**. Во многих случаях эти образования содержат в своем составе также вещества естественного происхождения. Общим для всех

техногенных пород, как и техногенных, минералов является их образование в ходе человеческой деятельности или в результате ее последствий.

Процесс техногенного породообразования должен иметь значительные масштабы, поскольку в качестве его результата обычно рассматривается возникновение нового техногенного геологического тела или техногенной геологической структуры, а не небольшого скопления вещества как при образовании техногенных минералов.

Разнообразие техногенных пород, вероятно, также весьма высоко, хотя конкретной информации, касающейся данного вопроса, обнаружить не удалось. В основу их существующей классификации, как и в случае с техногенными минералами, подложены техногенные и природно-техногенные процессы, в результате которых они возникают (Глаголев, 2008; Язиков и др., 2011). В соответствии с этим выделяют следующие **основные категории техногенных горных пород**:

1. **Техногенно-пирогенные (магматогенные) горные породы**, образующиеся в процессе горения материалов различного происхождения, в том числе:

- при сгорании каустобиолитов (уголь, горючие сланцы, газ, газоконденсат, нефть, торф), медноколчеданных руд, отходов промышленности;

- при сгорании растительности (вызванном человеком);

- при ядерных взрывах, в результате воздействия высокой температуры и давления на различные субстанции (при подземных испытаниях – на окружающие естественные горные породы).

2. **Техногенно-гипергенные горные породы**, образующиеся под воздействием процессов гипергенеза на поверхности отвалов, состоящих вскрышных, вмещающих горных пород или и некондиционных руд. Техногенные горные породы этой категории

в настоящее время имеют наибольшее распространение (Языков и др., 2011).

3. **Гидротермально-техногенные горные породы**, которые могут возникать в форме массивных отложений, образующихся в процессе производственной деятельности, связанной с подъемом на поверхность подземных термальных вод²⁸. Это нередко сопровождается выпадением их осадков вследствие резкого перепада температуры и давления.

4. **Антропогенно-техногенные горные породы**, возникающие в результате накопления отходов жизнедеятельности человека, сопровождающегося их физико-химической и биологической трансформацией, а также гипергенезом. К ним, в том числе, можно отнести «культурный слой», накапливающийся на поверхности в длительно существующих поселениях человека.

5. **Аккумулятивно-техногенные горные породы** возникают в результате миграции техногенных минералов (например, в результате эрозии и суффозии из первичных техногенных тел) и включения их частиц в осадочные образования (вторичные техногенные тела), способные со временем превратиться в горные породы. Подобные явления, например, отмечены при формировании речных донных отложений в зоне Кизеловского угольного бассейна (Максимович и др., 2000).

6. **Биотехногенные горные породы**, возникающие благодаря процессу накопления живыми организмами рассредоточенных в окружающей среде техногенных веществ. Так, многие двустворчатые моллюски (мидии, устрицы и др.) способны накапливать в своих раковинах тяжелые металлы, превышающие их содержание в среде на 3-6 и более порядков. Эти организмы нередко существуют в виде крупных колоний, формирующих при отмирании

²⁸ Например, при производстве электроэнергии на геотермальных электростанциях – ГеоТЭС.

моллюсков мощные скопления (пласты) ракуши, которые становятся депозитариями техногенных металлов. Впоследствии в процессе диагенеза они также могут образовать новые виды осадочных горных пород, существенно отличающихся по своему составу от естественных. Аналогичные процессы могут протекать и участием других групп организмов, например, рифообразующих видов кораллов или формирующих биогенные отложения зарослей водной растительности.

Данную классификацию можно дополнить еще двумя категориями:

7. **Реструктурированные горные породы**, возникающие в результате механического разрушения, например, под воздействием подземных взрывов. Их характерным признаком является высокая трещиноватость. Связанное с этим снижение связности и повышение проницаемости нередко сопровождается изменением их состава (например, в результате проникновения в их толщу различных флюидов).

8. **Техногенные грунты** – массивы, сформировавшиеся на земной поверхности при механической трансформации естественных горных пород и/или в результате образования на ней скоплений отходов. Их примером являются различные виды урбаноземов (см. разд. 6.2).

2.4.3. Техногенные геохимические (биогеохимические) барьеры

Согласно А.И. Перельману (1989) **техногенный геохимический барьер** – это участок, где происходит резкое уменьшение интенсивности техногенной миграции. В свою очередь под **техногенной миграцией** подразумеваются потоки химических элементов и их соединений, возникновение которых прямо или косвенно обусловлено деятельностью человека. Функцию подобного барьера гут выполнять как естественные геологические

тела, так и искусственно созданные. Но во всех случаях техногенный геохимический барьер представляет собой масштабное скопление вещества (горных пород или техногенных материалов), избирательно задерживающее распространение в окружающей среде некоторых химических соединений. Результатом становится их накопление на участке размещения геохимического барьера и его химический состав неизбежно изменяется за счет включения в него новых компонентов, относительное содержание которых закономерно возрастает. По этой причине образование техногенного барьера следует рассматривать не только как спонтанное возникновение или целенаправленное создание препятствия на пути потока веществ, являющихся непосредственным или побочным продуктом человеческой деятельности. Практически всегда это и процесс формирования нового техногенного геологического тела²⁹. В нем происходит образование устойчивых и обладающих меньшей миграционной способностью химических соединений, связывающих продукты человеческой деятельности. При этом искусственно создаваемые техногенные барьеры могут задерживать вещества (полиароматические углеводороды, многие виды пестицидов и др.), распространению которых в среде естественные геохимические барьеры воспрепятствовать не способны (Максимович, Хайрулина, 2011).

Продукты человеческой деятельности не только накапливаются на техногенных барьерах, но и трансформируются в них в ходе различных физико-химических и микробиологических процессов (Опекунов, 2005; Водяницкий, Шоба, 2016). Результатом является возникновение в геологической среде новых веществ и/или их

²⁹ В соответствии с классификацией техногенных тел, представленной в разделе 1.4, подобные техногенные тела относятся к категории барьерно-аккумулятивных.

агрегация. Некоторые из этих процессов в естественных условиях не наблюдаются. По этой причине техногенные геохимические барьеры, помимо прочего, рассматриваются как зоны техногенного минералообразования (Перельман, 1989).

В настоящее время целенаправленное создание техногенных геохимических барьеров находит все более широкое применение. Они могут служить для решения различных задач – охраны окружающей среды, обогащения полезных ископаемых, инженерной защиты территорий и др. (Висков, 2011). Использование техногенных барьеров для предотвращения распространения загрязнителей в окружающей среде достигается двумя способами (рис. 2.7).

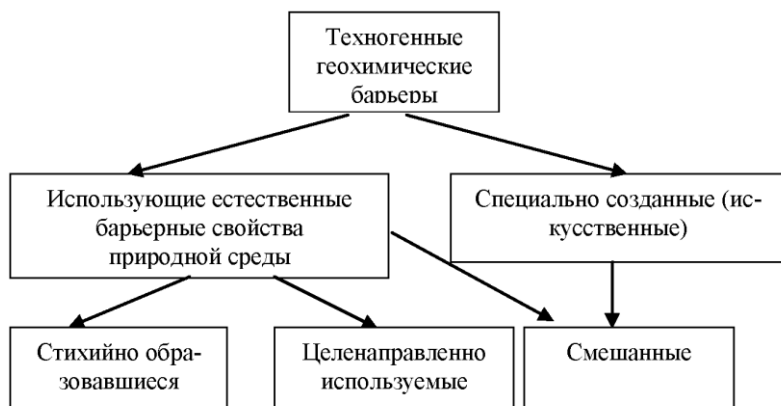


Рисунок 2.7. Классификация техногенных геохимических барьеров, используемых для охраны окружающей среды (по Максимович, Хайрулина, 2011)

Во-первых, техногенные геохимические барьеры создаются в виде специальных сооружений, например, плотин, насыпей, траншей, заполненных материалом, специально создаваемом для

этой цели (Benner et al., 1999; Blowes et al., 2000; Максимович, Хайрулина, 2013). Все они представляют собой полупроницаемые активные среды, задерживающие различные загрязнители, но пропускающие воду. Для повышения интенсивности очистки в них могут создаваться условия для развития определенных групп бактерий, жизнедеятельность которых способствует, разложению или осаждению загрязнителей. Для обозначения подобных сооружений используется термин **«искусственные биогеохимические барьеры»** (Водяницкий, Шоба, 2016). Например, такой барьер был сооружен в промзоне г. Ванкувер (Канада) на пути распространения сточных вод, содержащих значительное количество Cd, Cu, Ni, Pb, Zn (Blowes et al., 2000). В качестве одного из основных материалов при его создании использовали компост. Концентрация меди в сточных водах после прохождения через этот биогеохимический барьер снизилась с 300 до 5 мг/л. Это было обусловлено как сорбцией меди органическими веществами компоста, так и осаждением ее ионов в форме сульфидов, под влиянием микробиологических процессов, выделяющих в среду сероводород. В качестве основы для формирования составляющих барьерно-аккумулятивных техногенных тел при сооружении искусственных геохимических (биогеохимических) барьеров используются как естественные субстраты (глины, суглинки, торф и др.), обладающие сорбционными свойствами, так и специально изготавливаемые материалы, а также некоторые виды производственных отходов (Максимович и др., 2006; Максимович, Хайрулина, 2011; Висков, Воронкова, 2014).

Во-вторых, техногенные барьеры, задерживающие потоки загрязнителей, могут формироваться на основе использования барьерных свойств природой среды. Примером могут служить естественные выходы известняковых горных пород (карбонатов) на пути распространения кислых шахтных вод. Подобные процессы могут происходить как стихийно, так и в результате

целенаправленных усилий. Но в обоих случаях по мере своего развития они, в конечном счете, приводят к техногенной трансформации естественного массива горных пород и превращения его в техногенное тело (структуру). Возможно комплексное использование этих двух методов, результатом которых возникают так называемые смешанные техногенные барьеры (Максимович, Хайрулина, 2011).

2.4.4. Техногенные геохимические и биогеохимические аномалии (провинции)

*Техногенная геохимическая аномалия*³⁰ – это значительное повышение или понижение в окружающей среде содержания какого-либо химического элемента по сравнению с его природным фоном (содержанием, характерным для данного участка), прямо или косвенно связанное с человеческой деятельностью (Сает и др., 1990). Превышение фонового содержания обозначается как положительная аномалия, пониженное содержания элемента – как отрицательная аномалия.

Положительные техногенные аномалии чаще привлекают внимание специалистов. В классическом труде А.Е. Ферсмана (1934) их возникновение рассматривается как одно из последствий техногенеза – рассеяние в окружающей среде элементов земной коры, поднятых на поверхность при добыче полезных ископаемых и первоначально скапливающихся попавших в отвалах. Во многих случаях подобные явления наносят значимый экологический ущерб. Вместе с тем, могут существовать и отрицательные техногенные

³⁰ Относительно небольшие по масштабам техногенные геохимические аномалии, затрагивающие только один или несколько соприкасающихся массивов горных пород можно рассматривать как один из видов локальных образований геологической среды –зону техногенного влияния (см. разд. 1.1).

геохимические аномалии. Например, они возникают при вымывании (выщелачивании, выветривании) химических элементов из верхних горизонтов земной коры в результате спровоцированной человеческой деятельностью процессов эрозии, дефляции (пыления) и суффозии. С точки зрения «второй геологии» процесс возникновения любой техногенной геохимической аномалии практически всегда неразрывно связан с образованием нового техногенного тела и является диагностическим признаком такого события. Положительная геохимическая аномалия – это свидетельство образования аккумулятивного техногенного тела, а отрицательная сопровождается возникновением трансформируемого или деградирующего техногенного тела.

Наиболее широко известны техногенные геохимические аномалии, возникающие в районах размещения больших скоплений отходов горнодобывающих и горно-обогатительных предприятий (терриконов, отвалов, шламо- и хвостохранилищ) (Пряничникова, 2005; Шулькин и др., 2014). Некоторые из них формировались еще в античные времена (Davis et al., 2000). Геохимические аномалии могут возникать также при ликвидации и затоплении горных выработок, например, угольных шахт (Закруткин и др., 2010).

Причиной геохимических аномалий может стать накопление в почве и подстилающих ее слоях земной коры³¹ тяжелых металлов, вносимых вместе с минеральными удобрениями (Сатаров, 2013). Так, используемые в этих целях фосфориты, добываемые в Австралии, содержат до 109 мг/кг кадмия, североамериканские – до 130 мг/кг, встречаются фосфориты с содержанием кадмия 980 мг/кг (Rothbaum H.P., et al., 1986). Кроме кадмия фосфатные руды имеют в

³¹ В монографии обработанные почвы и испытывавшие значимое влияние этой обработки подстилающие горные породы рассматриваются соответственно, как «поверхностные» и «сопряженные подповерхностные техногенные геологические тела».

своем составе примеси свинца (до 1500 мг/кг) и других металлов (Добровольский, 1987).

Аналогичные явления отмечены при использовании некоторых средств защиты растений, которые являлись источником загрязнения почв свинцом, мышьяком, медью, ртутью, цинком (Сатаров, 2013). Например, в результате применения арсенатов свинца содержание этого металла в почве могло повышаться до 500 мг/кг (Freedman, Hutchinson, 1981; Merry et al., 1983). Использование в качестве гербицидов препаратов, в состав которых входит мышьяк, вызвало на ряде ферм США увеличение содержания этого элемента в почве до 165-830 мг/кг при фоновом содержании 13-14 мг/кг (Woolson et al., 1971).

Экологические последствия образования техногенных геохимических аномалий могут быть различными. Так, А.И. Перельман (1989) разделял эти явления на три группы:

- **полезные техногенные аномалии**, улучшающие окружающую среду, делающие ее более пригодной для жизни человека. В качестве примеров он, в частности, приводил техногенные тела, формирующиеся в результате известкования кислых почв;

- **вредные техногенные аномалии**, проявляющиеся в форме образования зон загрязнения, ухудшающих условия существования человека, растений и животных;

- **нейтральные техногенные аномалии**, не оказывающие значимого влияния на биологические объекты. В качестве их примера А.И. Перельман рассматривал повышение концентрации железа и алюминия в городской среде, высказывая мнение, что это не оказывает влияние на здоровье человека и других организмов.

Подобное деление техногенных аномалий представляется недостаточно обоснованным. Любое изменение геохимии участка окружающей среды не следует рассматривать как полезное или нейтральное исходя из извлечения какой-то выгоды или отсутствия

на данный момент времени информации о нанесении вреда³². Порождающая геохимические аномалии трансформация земной коры, обусловленная человеческой деятельностью, – это образование нового техногенного тела. Нередко этот процесс сопровождается различными побочными эффектами или имеет последствия, проявляющиеся лишь по прошествии длительного времени. Так, в городской среде содержание алюминия часто действительно многократно выше за пределами урбанизированных территорий (Шугалей и др., 2012). Но поступление в организм человека соединений данного элемента (например, в форме вдыхаемой пыли) после определенного достижения порога приводит к необратимому ухудшению здоровья и сокращению срока жизни. Известкование почв, приводимое А.И. Перельманом как пример «полезной техногенной аномалии» также может иметь нежелательные последствия. Например, этот агротехнический прием, изменяя химизм почвенной среды, облегчает доступность для растений необходимых им элементов (фосфора и азота). В результате через некоторое время их запасы в почве могут исчерпаться, что без периодического дополнительного внесения дорогостоящих минеральных удобрений приведет к снижению плодородия (Литвинович, 2014). Долгосрочная перспектива

³² Такой подход к анализу возникшей ситуации и оценки ее возможных последствий, помимо прочего, соответствует требованиям действующего законодательства РФ. Так, в соответствии со статьей 3 Федерального закона «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. №7-ФЗ одним из основополагающих принципов в данной области является «презумпция экологической опасности планируемой хозяйственной и иной деятельности». То есть, до тех пор, пока не доказано, что какой-то техногенный процесс не несет угрозы ухудшения окружающей среды, он не может априорно считаться безвредным, на основании того, что информация об его возможных негативных последствиях отсутствует. Необходимо доказательство, что риск подобных явлений не превышает допустимого уровня.

использования данного метода была образно сформулирована в поговорке, распространенной в Англии в XIX веке: «известкование почв обогащает отцов и разоряет детей».

Практически всегда возникновение техногенной геохимической аномалии оказывает на значимое воздействие не только на жизнь организмов, но и на характер их взаимодействия с абиотической средой. По этой причине подобные образования можно рассматривать и как биогеохимические аномалии – участки нарушения исторически сложившегося механизма круговорота веществ, осуществляемого с участием живых организмов.

На современном этапе в ряде регионов (например, в угольных бассейнах) наблюдается слияние аномалий и охват ими территорий, размеры которых сравнимы с естественными элементами районирования земной коры – геохимическими и биогеохимическими провинциями³³. Для их обозначения используются термины *техногенные геохимические провинции*³⁴, *техногенные биогеохимические провинции* (Ермаков, 2017) или *искусственные биогеохимические провинции* (Петрова, Кузнецова, 2016).

³³Под термином «*геохимические провинции*» подразумеваются области, характеризующиеся специфическим преобладанием комплекса одних химических элементов и недостатком других (Ферсман, 1931). Как и в случае с геохимическими аномалиями недостаток или повышенное содержание химического элемента в среде может оказывать неблагоприятное влияние на развитие различных организмов и вызывать заболевания у людей. Подобные болезни А.П. Виноградов (1938) назвал биогеохимическими эндемиями, т.е. заболеваниями, постоянно встречающимися у людей, живущих в конкретном районе, а районы их распространения – *биогеохимическими провинциями*.

³⁴ В монографии они рассматриваются как разновидность техногенных геологических провинций (разд. 1.2)

2.4.5. Нарушение геохимических (биогеохимических) циклов в результате процессов образования и трансформации техногенных тел

Геохимические циклы — последовательность явлений и процессов, составляющих круговороты химических элементов и их соединений в земной коре. Важнейшее место в круговороте веществ на Земле играют живые организмы (Сает и др., 1990; Вернадский, 2004; Башкин, 2008). В процессе своей жизнедеятельности они избирательно концентрируют в себе многие химические элементы, а также определяют пути их перемещения в окружающей среде. Таким образом, круговорот веществ в биосфере, который обеспечивает взаимосвязь составляющих ее элементов в единую систему, происходит в форме **биогеохимических циклов**, представляющих более или менее замкнутые пути движения химических элементов через живые организмы, атмосферу, гидросферу, почвенный покров (педосферу) и литосферу. Геохимический цикл химического элемента можно рассматривать как часть его биогеохимического цикла.

Биогеохимические циклы включают множество взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов. Их структура, свойственная отдельным химическим элементам, принципиально различается. Вместе с тем, в каждом из этих циклов можно выделить две части: **резервный фонд** – большая по массе небиологическая часть, существующая в форме медленно движущихся веществ и **обменный фонд** – меньшая, но более подвижная часть массы химического элемента, которая относительно быстро перемещается между организмами и окружающей их средой.

Любое нарушение исторически сложившихся биогеохимических (геохимических) циклов, обеспечивающих системное единство биосферы, способно повлечь изменение экологических условий в глобальном масштабе и, следовательно, весьма нежелательно

(Моисеенко, 2017). Примером, может служить цикл углерода, связанные с изменением которого аномальные климатические флуктуации наносят в современном мире огромный экологический и социально-экономический ущерб.

Образование техногенных тел в литосфере способно вызвать нарушение биогеохимических (геохимических) циклов в силу нескольких различных причин:

1. Формирование в земной коре техногенных тел из различных отходов, изменяющее естественные пути миграции многих элементов. В научной литературе подобные явления обозначаются как захоронение или *тафономирование* веществ в литосферном пространстве (их размещение в земной коре на неограниченное время) и хранение или *магазинирование* аллохтонных материалов (размещение в земной коре на определенный срок) (Шарова, 2013).

2. Создание при образовании техногенных тел условий для депонирования, так называемых «ксенобиотиков» – искусственно созданных веществ, которые не разлагаются микроорганизмами. По этой причине, содержащиеся в них элементы не вовлекаются в естественные круговороты. Ксенобиотики, примером которых являются многие виды полимерных синтетических материалов, являются своеобразными «ловушками» химических элементов. Следует отметить, что биогеохимическая изоляция ксенобиотиков весьма условна. Практически все эти вещества подвержены разрушению в ходе физико-химических процессов и биодеградаци (Миндубаев, Яхваров, 2013). Поэтому, образование их скоплений не исключает вовлечение содержащихся в них элементов в биогеохимические циклы, а вызывает замедление этого процесса.

3. Образование техногенных тел из отходов горнодобывающей и горно-обогатительной промышленности, способствует ускорению миграции многих элементов биосфере, включение их в ее различные образования (почвы, воды, растительность и др.) (Грехнев,

Жовинский, 2009; Шулькин и др., 2014). Так, количество тяжелых металлов, содержащееся в телах многих современных живых организмов и в формирующихся из них биогенных отложениях, вероятно, значительно выше, чем в предшествующую геологическую эпоху. В результате подобных явлений миграция химических элементов в биосфере начинает идти иными путями, чем ранее. То есть, в данном случае также происходит **техногенная трансформация биогеохимических циклов**.

Таким образом, возникновение и существование техногенных тел оказывает многоплановое и разнонаправленное воздействие на геохимические (биогеохимические) процессы. Результатом становится постепенное становление новой системы взаимосвязанных потоков вещества в планетарном масштабе. Это одна из основных причин преобразования естественной глобальной системы – биосферы, в глобальную природно-техническую систему – биотехносферу (Суздалева, Горюнова, 2017). Если этот процесс будет и в дальнейшем развиваться практически бесконтрольно, то его экологические и социально-экономические последствия рано или поздно примут катастрофический характер. Следовательно, необходимо создавать систему управления биогеохимическими циклами. При этом важно перенести акцент с запретительно-ограничительных мер на выработку решений, позволяющих сочетать неизбежное и практически необратимое нарушение естественных круговоротов вещества с сохранением благоприятных условий для жизни населения планеты и ее биоразнообразия. По сути, это организация искусственных биогеохимических циклов. Принятие подобной креативной парадигмы в сфере охраны окружающей среды и рационального использования ресурсов не следует рассматривать как очередную попытку «не ждать милостей от природы», а улучшить ее в соответствии со своими представлениями. В существующих условиях – это вынужденная мера, единственный путь достижения реальных эффектов.

Разрозненные запретительно-ограничительные меры, даже если их количество очень велико не даст желаемого результата. Негативные последствия техногенеза литосферы только усиливаются, и их предотвращение становится все более трудновыполнимым. Примером может служить процесс повышения содержания углекислого газа в атмосфере, который многие специалисты считают основным фактором происходящих глобальных климатических изменений – «парникового эффекта». Все существующие способы предотвращения борьбы с парниковым эффектом не что иное, как попытки искусственно контролировать техногенно трансформированный биогеохимический цикл углерода. В настоящее время основное направление этой деятельности в соответствии с господствующей ограничительно-запретительной парадигмой заключается в усилении контроля за промышленными выбросами. Вместе с тем, не менее значимым источником эмиссии углекислого газа в атмосферу становится деградация многолетней мерзлоты (Анисимов и др., 2005; Елдышев, 2009; Anisimov et al., 2012; Киселев, Решетников, 2013). Оттаивание грунтов при контакте с атмосферным кислородом сопровождается окислением накопленного в них огромного количества органических веществ. Данный процесс обусловлен потеплением климата и непосредственно с промышленной деятельностью не связан. Хотя косвенная связь, вероятно, существует. В складывающейся ситуации с позиций креативной парадигмы более перспективным является не ограничение эмиссии парниковых газов в атмосферу, а реализация крупномасштабных проектов по их изъятию из атмосферы (организации их искусственного стока). Эта идея в настоящее время уже реализуется, главным образом, в форме культивирования наземной и водной растительности. Аккумулирующийся в фитомассе углерод может быть с помощью специальных технологий переработан в углеподобные соединения и захоронен (тафономирован) в земной коре на неограниченно длительный

срок³⁵, например, в форме особых техногенных геологических тел (рис. 2.8). Так как, эта деятельность заключается в переводе атмосферного CO₂ для ее обозначения используется термин *«технология секвестрации углекислого газа»* (Череповицын и др., 2013).

Не менее необходим поиск путей управления биогеохимическим циклом фосфора (Суздалева, Горюнова, 2017). Внесение содержащих этот элемент удобрений позволяет устойчиво получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур. Однако запасы минерального сырья, из которого производятся фосфорные удобрения, близки к исчерпанию. Естественный биогеохимический цикл фосфора относят к категории осадочных, т.е. основной фонд данного элемента содержится в осадочных горных породах. В естественных условиях заключенный в них фосфор становился доступным для растений в результате двух процессов. Во-первых, это вулканические выбросы, содержащие продукты «сгорания» осадочных пород после опускания из верхних слоев магмы в зонах субдукции³⁶. Во-вторых, это эрозия осадочных пород, перемещенных в ходе тектонических движений земной коры с морского дна на возвышенные участки суши. Продолжительность подобных процессов составляет десятки миллионов лет.

³⁵ В научно-технической литературе для обозначения данного метода используется аббревиатура CCS (carbon capture and storage – захват и хранение углерода) (Елдышев, 2009). В тех случаях, когда искусственно связанный углерод (например, в форме наказываемого «биоугля») также используется и в биоэнергетике, т.е. осуществляется своеобразный рециклинг сжигаемого топлива, для обозначения этой деятельности используется аббревиатура BECCS (bioenergy with carbon capture and storage) (Кокорин, 2014).

³⁶ Субдукция – процесс, происходящий на границе сходящихся тектонических плит, при котором одна из них продвигается под другую и погружается в расплавленную мантию.

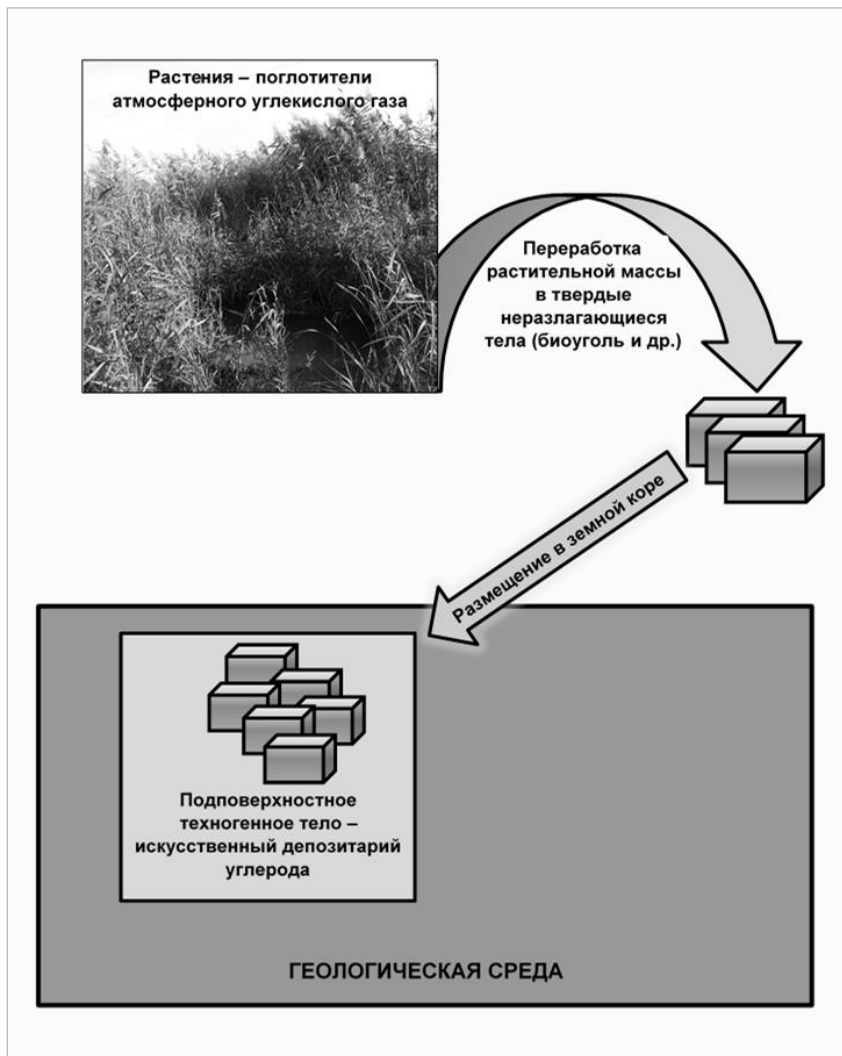


Рисунок 2.8. Схема секвестрации атмосферного углекислого газа и его хранения в форме техногенных геологических тел

За последние 100–150 лет естественный круговорот фосфора подвергся глубокой техногенной трансформации. В течение десятков лет человек интенсивно изымал из литосферы доступные ему запасы фосфорсодержащих горных пород, перерабатывал их в минеральные удобрения и вносил в почву. Но растения усваивали только часть этого фосфора. Значительное количество данного элемента уносилось поверхностным смывом в водные объекты³⁷, вызывая в них вспышки развития водорослей («цветения»). В конечном счете, фосфор попадал в донные отложения. Для поддержания высоких урожаев требовалось внесение в почву все новых партий минеральных удобрений, а, следовательно, непрерывающаяся добыча необходимого для их производства сырья, запасы которого не восполнялись. В результате в настоящее время возникла реальная угроза разрыва звеньев естественного биохимического цикла фосфора.

Ограничение добычи фосфорсодержащих пород нереально и уже не может дать какого-либо полезного эффекта. Вместе с тем, неизбежно приближающееся уменьшение возможности использования фосфорных удобрений неминуемо приведет к скачкообразному усилению развития глобального продовольственного кризиса, катастрофической нехватки продовольствия во многих регионах Земли (Суздалева, 2020в). С позиций креативной парадигмы решением проблемы могла бы стать организация «**фосфорных ловушек**» (рис. 2.9). В простейшей форме они создаются в виде системы, соединенных каналами специально создаваемых водных объектов, задерживающих сток с сельскохозяйственных угодий.

³⁷ Масса этого фосфора, попадающая в гидрографическую сеть, составляет 2,56 млн тонн P/год, а непосредственно в Мировой океан –0,89 млн тонн P/год (Эдельштейн, 2005). Для восполнения его количества в почву вносится 3,47 млн тонн P/год.

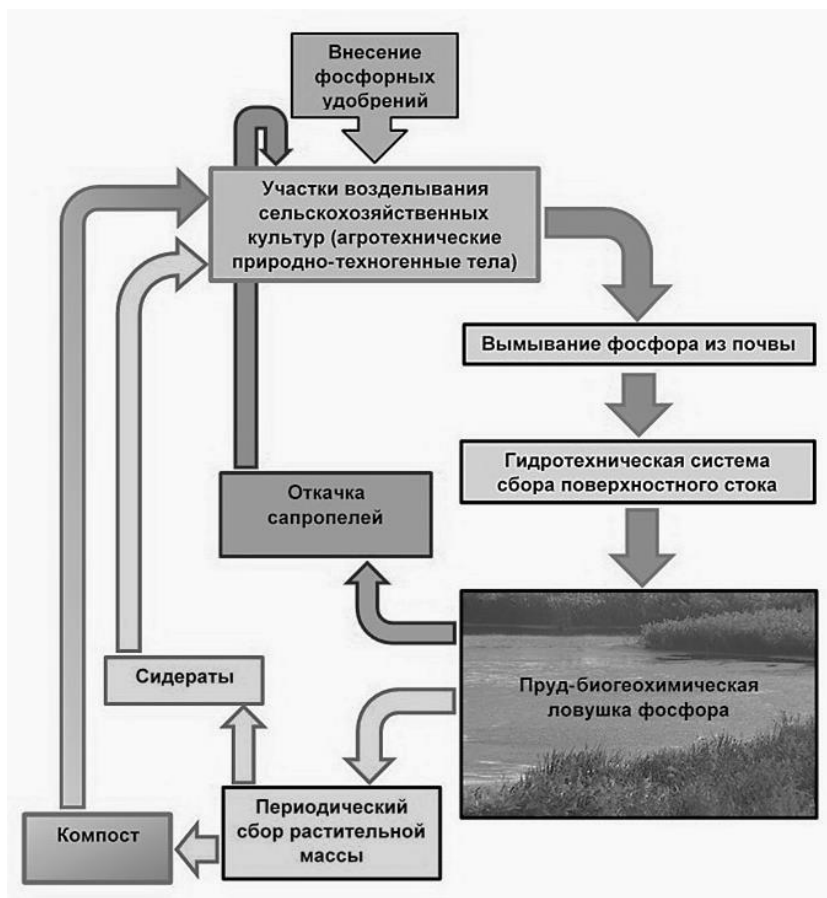


Рисунок 2.9. Схема биогеохимической фосфорной ловушки

Поступающий в них фосфор может аккумулироваться либо специально организованными биофильтрами из водных растений и затем возвращаться на поля в виде сидератных удобрений³⁸ или в

³⁸ Сидератные или зеленые удобрения – это растительная масса, вносимая в почву с целью повышения ее плодородия и/или улучшения ее структуры.

продуктах переработки растительной массы (компостирования). Попытка реализовать данный метод на практике была предпринята российскими специалистами в конце XX века (Безносков и др., 1999). Неизмеримо большие количества фосфора накоплены в отложениях водохранилищ. Их разведка, определение запасов, а также методов обработки (обогащения, очистки от сопутствующих загрязнителей) является одной из задач второй геологии. Не менее важно организовать на основе сети водохранилищ крупномасштабные фосфорные ловушки, для образования аккумулирующих фосфор биотехногенных геологических тел. Все эти действия также могут служить примером создания искусственного биогеохимического цикла, точнее одного из его звеньев.

2.5. ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ

2.5.1. Значимость и основные формы геофизических воздействий, обусловленные возникновением техногенных тел в земной коре

Геофизическая экологическая функция литосферы включает широкий спектр физических воздействий элементов земной коры на жизнедеятельность организмов. Несмотря на то, что изменение параметров естественных геофизических полей (гравитационного, магнитного и др.), как правило, непосредственно не ощущается людьми, они являются значимым экологическим фактором. Некоторые формы геофизических воздействий, например, исходящие из геологических пород и грунтов ионизирующие излучения, могут даже вызывать заболевания и гибель организмов, иные, напротив, могут оказать позитивное воздействие. Растущая актуальность этой проблемы обусловила возникновение новой научной дисциплины *медицинской геофизики*, изучающей воздействие естественных и техногенных физических полей на здоровье человека (Никитин, Хмелевской, 2012). Следует отметить,

что специалистами, работающими в этой области, внимание уделяется не только изучению гепатогенных, т.е. вредных воздействий физических полей, но их витагенной (полезной) роли. На основе достижений последнего из этих направлений уже созданы приборы, генерирующие электромагнитные и иные поля в лечебных целях. Но неконтролируемые изменения геофизических условий в целом с экологической точки зрения рассматриваются как явления потенциально опасные и, по этой причине, нежелательные.

Геофизические условия на протяжении всего времени существования нашей планеты были подвержены различным изменениям (Адушкин, Спивак, 2014). Они, несомненно, оказывали влияние на эволюцию организмов, которые способны существовать в определенном диапазоне флуктуаций магнитного и других естественных полей, к которым процессы их жизнедеятельности адаптировались в течении сотен миллионов лет (Грухин и др., 2005).

Образование техногенных геологических тел практически всегда вызывает изменение различных природных геофизических полей (Матусевич, Ковяткина, 2013). Так, образование крупных водохранилищ, которые в контексте рассматриваемой проблемы можно рассматривать как создание человеком на поверхности литосферы искусственных крупномасштабных скоплений вещества, способны вызывать заметные изменения гравитационного поля (Вовк, 1982). Аналогичные эффекты отмечены и в районах разработки рудных месторождений (Вовк, Татаренко, 2008).

Скорость, с которой происходит изменение геофизических условий среды в процессе техногенеза, несравнима по скорости с аналогичными естественными процессами. В подобной ситуации до определенного предела при изменении физических условий организмы могут выживать, но их физиологическое состояние ухудшается, возрастает частота летальных мутаций, приводящих к снижению плодовитости, и нелетальных мутаций, обуславливающих врожденные уродства. Поэтому, в большинстве

случаев искусственная трансформация геофизических условий среды рассматривается как негативный экологический фактор. Именно по этой причине для обозначения подобных явлений используется термин «*техногенное физическое загрязнение*», под которым подразумевают воздействие искусственно измененных физических параметров среды (Сунгатуллин, 2013). Его основными формами считаются: 1) шумовое или акустическое загрязнение; 2) вибрационное загрязнение³⁹; 3) тепловое загрязнение; 4) электромагнитное загрязнение; 5) радиационное загрязнение.

Употребление термина «*гравитационное загрязнение*», т.е. искусственное изменение гравитационного поля, способное оказать негативное воздействие на биологические объекты, при анализе научной литературы обнаружить не удалось. Вместе с тем, этот фактор сыграл важнейшую роль в эволюции земных организмов (Виноградова и др., 2020). Наиболее ощутимо его воздействие весьма ощутимо проявляется в условиях невесомости. Многочисленные исследования указывают на воздействие гравитационных полей Луны и Солнца на физиологическое состояние человека и других организмов (Дещеревский, Сидорин, 2010; Черных, 2021) Высказывались предположения, что и даже слабые аномалии гравитационного поля на поверхности нашей планеты при длительном воздействии способны оказать влияние на состояние здоровья человека (Лимонад, Цыганов, 1997). Следует отметить, что возникновение на Земле гравитационные аномалии, т.е. участки, на которых наблюдаются положительные или отрицательные отклонения нормального значения ускорения силы тяжести, связано с особенностями геологической структуры

³⁹В данном случае фактором воздействия являются механические колебания, не достигающие по своей силе уровня, при котором они могут рассматриваться как сейсмические явления. Вместе с тем, четкой границы между микросейсмическими проявлениями и вибрацией как формы физического загрязнения среды не существует.

данного региона (Gass, Masson-Smith, 1963; Gvirtzman et al., 1990). Можно предположить, что крупномасштабный техногенез земной коры также может сопровождаться появлением аналогичных аномалий. Но изучения подобных явлений практически не проводилось.

Вместе с тем, существует значительное количество материалов, свидетельствующих о том, что в проявлениях перечисленных выше традиционных форм физического загрязнения окружающей среды техногенные геологические тела различных видов могут играть значимую роль. Их формирование в земной коре способно оказывать воздействие на экологические условия двумя основными путями, которые заключаются:

- в экранировании источников физического загрязнения, в результате возникновения искусственного изолирующего слоя, препятствующего распространению подобных воздействий до земной поверхности;

- в возникновении в земной коре новых источников физических воздействий, способных оказать значимое влияние на здоровье человека и жизнедеятельность организмов.

2.5.2. Трансформация естественных геофизических полей и экранирование подземных источников физического загрязнения

Актуальность проблемы экранирования физических полей постоянно возрастает, поскольку в современном мире наблюдается устойчивая тенденция увеличения количества участков окружающей среды, где эти искусственно генерируемые поля достигают опасного уровня. В первую очередь это относится к явлениям, рассматриваемым как электромагнитное и радиационное загрязнение. Одним из наиболее распространенных источников техногенных электромагнитных полей являются линии электропередач (ЛЭП) и системы телекоммуникаций. Наибольшей

силы эти поля достигают на урбанизированных территориях, но могут распространяться и за их пределы (например, полосы вдоль высоковольтных линий). Влияние электромагнитных полей на биологические объекты, включая человека, изучено еще в недостаточной степени (Спивак и др., 2016). Но уже сейчас есть все основания полагать, что дальнейший рост силы и распространения искусственных электромагнитных полей войдет в число наиболее значимых негативных последствий техногенеза окружающей среды (Сподобаев, Кубанов, 2000).

Рассматривая данную проблему, следует обратить внимание на еще одну тенденцию – размещение источников электромагнитных полей под землей, т.е. в верхних горизонтах земной коры. Это делается как с целью использования освобождающейся территории в иных целях, так и для улучшения технико-экономических параметров деятельности. Так, при передаче электроэнергии по высоковольтным ЛЭП значительная часть энергии теряется. Кроме того, при прокладке их трассы большой участок территории становится непригодным для осуществления каких-либо иных видов деятельности. Во время стихийных бедствий ЛЭП – это один из наиболее уязвимых и опасных объектов. По этим причинам, все чаще передача электроэнергии осуществляется по подземным кабелям. На территориях городских агломераций этот способ электроснабжения уже давно стал основным.

Мощные электромагнитные поля генерирует движение электропоездов и системы их электроснабжения. Строительство подземных коммуникаций для их передвижения требует значительных финансовых средств. Но это в значительной мере компенсируется тем, что прокладка подземных линий метро не требует затрат на приобретение участков городской территории и сноса находящихся на них зданий и сооружений. Движение по ним поездов не увеличивает нагрузку на существующие транспортные коммуникации, а, напротив, снижает ее. Поэтому практически во

всех крупных городах происходит расширение сетей метрополитена, нередко распространяющееся в пригородные территории.

Строительство линий метро, прокладка подземных систем электроснабжения и телекоммуникаций неизбежно сопровождается формированием техногенных геологических тел или при меньших масштабах деятельности – техногенных геологических структур. Подобные образования в значительной мере экранируют подземные источники электромагнитных полей. Эти свойства техногенных тел пока малоизучены, но их исследование представляется достаточно актуальным. Учет экранирующих возможностей техногенных тел и структур, возможно, позволит создать более благоприятные экологические условия на урбанизированных территориях при прогрессирующем освоении расположенной под ними участков земной коры.

Следует остановиться еще на одном аспекте данной проблемы. Генераторы электромагнитных полей, размещаемых в земной коре, могут оказывать влияние на состояние человека не только при его пребывании на поверхности. Значительная часть населения крупных городов периодически опускается под землю. Это происходит при пользовании метро, подземными парковками и иными заглубленными сооружениями. В этих условиях люди могут подвергаться воздействию мощных электромагнитных полей. Так исследования, проведенные в московском метро, показали, что переменная магнитная составляющая электромагнитного поля, т.е. магнитная индукция, колебалась на различных линиях от 150-1500 до 660-1820 нТл, тогда как экологически безопасный уровень данного параметра составляет 250 нТл (Трофимов и др., 2016). В этих условиях экранирующая функция техногенных тел приобретает особую важность.

На современном этапе постепенно возрастает и проблема теплового загрязнения подземной среды (Суздалева, Левашова,

2018). Процессу урбанизации все чаще сопутствует формирование обширных геотермических аномалий со значительным превышением естественной температуры подземных горизонтов. Так, под территорией г. Москвы сформировалась региональная аномалия подобного рода, достигающая глубины 250-300 м (Просенков, 1974). В ее центре температура подземных вод в 1,5-3 раза превышает фоновую. Данные аномалии можно обозначить как **техногенные тепловые поля** и рассматривать как нарушение геофизической экологической функции литосферы. Причиной возникновения подобных полей является размещение под землей теплотрасс, обогреваемых сооружений и иных техногенных объектов, рассеивающих тепловую энергию.

Значительно более высокий уровень искусственного повышения температуры земных недр происходит при использовании технологий подземного газификации углей (ПГУ) и подземного сжигания углей (ПСУ)⁴⁰, а также при возникновении пожаров в шахтах. В этих условиях температура окружающих массивов горных пород может достигать 1000-1300°C, а из подземных вод образуется перегретый пар (Котлов, 1978). В результате возникают **термотехногенные геологические тела**, отличающиеся значительной меньшей устойчивостью, чем геологические образования, из которых они возникают. На расположенной над ними земной поверхности могут образоваться просадки и провалы.

Даже относительно небольшой искусственный нагрев участков недр (подземное тепловое загрязнение) в некоторых своих проявлениях более опасно, чем явления подобного рода, наблюдающиеся в водной и воздушной средах. Вместе с тем, данному вопросу уделяется значительно меньшее внимание. Например, образование подземных техногенных тепловых полей может вызвать локальное просушивание горных пород, приводящее

⁴⁰ Эти процессы описаны в разделе 4.4.

к изменению их прочности, а, следовательно, возникновению риска нежелательных геодинамических процессов. С повышением температуры подземных вод возрастает скорость химических реакций в зоне их контакта с материалами, размещенных в литосфере конструкций и сооружений. Так, установлено, что скорость химической коррозии строительных марок стали линейно возрастает при изменении температуры от 0°C до 80°C. Кроме того, увеличение температуры пород и подземных вод активизирует деятельность микроорганизмов, вызывающих *биокоррозию*.

Распространение подземных тепловых полей до поверхности способно вызвать изменение условий существования живущих на ней людей и других организмов. Так, в городах центральной России на незамерзающих участках земли над теплотрассами не только может наблюдаться практически круглогодичная вегетация травянистой растительности (зеленая трава), но и сохраняться возбудители ряда заболеваний и их переносчиков. Подогрев подземных горизонтов может вызвать разложение захороненных в них различных веществ, сопровождающееся эманацией токсичных газов и паров в подвалы, а затем их проникновением по внутренней вентиляции и в жилые помещения. В летний период, исходящее от поверхности земли тепло усиливает техногенное тепловое загрязнение городского воздуха от наземных источников, способствует образованию над урбанизированной территорией накапливающий смог застойной зоны. Все это придает актуальность исследованию теплоизоляционных свойств техногенных тел, неизбежно образующихся при размещении подземных источников теплового загрязнения. Несомненный интерес представляет также изучение процессов физико-химической и биологической трансформации подземной среды в зонах рассеяния тепловой энергии, т.е. техногенных тепловых полей.

Еще более важную роль экранирующие свойства техногенных тел играют при защите от подземных источников ионизирующих

излучений. Например, подобные тела целенаправленно создаются при так называемой «буферной засыпке» **пунктов захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО)** (Варлакова и др., 2013). В условиях соблюдения режима эксплуатации этих объектов функцию основного изоляционного барьера выполняют оболочки специальных упаковок (контейнеров), в которые помещаются эти отходы. Основное же предназначение буферных засыпок заключается в изоляции упаковок с радионуклидами от внешней среды и придания подземным сооружениям, создаваемых для их хранения, большей механической прочности. Но при разрушении контейнеров эти техногенные геологические тела становятся основным экраном, предотвращающим распространение радиационного и радиоактивного загрязнения среды⁴¹. Таким образом, возведение буферных засыпок повышает экологическую безопасность хранилищ радиоактивных отходов при их длительной эксплуатации.

В простейшем виде буферная засыпка представляет собой сооружение в виде насыпи, мощностью не менее нескольких метров (рис. 2.10), которое можно рассматривать как поверхностно-подповерхностное техногенное геологическое тело. Для его создания чаще всего используются различные глины, обладающие высокими гидроизоляционными свойствами или их смеси другими материалами (бентонитом и др.) (Sellin, Leupin, 2013; Изотова и др. 2015).

⁴¹ Под радиационным загрязнением понимается увеличение в среде интенсивности ионизирующих излучений, под радиоактивным загрязнением – попадание в нее радионуклидов, в т.ч. в форме захороненных отходов при разгерметизации их хранилищ.



Рисунок 2.10. Структура буферной засыпки (по Performance..., 2001)

Верхний слой буферных засыпок – обложка (cover) нередко включает несколько слоев, выполняющих различные функции (Potier, 1997; Zuloaga et al, 1997; Performance..., 2001). Кроме того, поверх этих сооружений, как правило, отсыпается плодородный слой почвы для развития растительности, обеспечивающей защиту от эрозии. Слои песка и гравия обеспечивают дренаж и возможность отвода просачивающихся сверху дождевых вод, а также понимающихся грунтовых вод (рис. 2.11).

Подстилающая их глина выполняет роль водоупорного слоя. Кроме того, для предотвращения проникновения корней растений и роющих животных в более глубокие горизонты⁴² (что может нарушить изоляционные свойства буферной отсыпки) создается специальная каменная преграда. Подобное сооружение может служить примером гетерогенно-стратифицированного техногенного тела.

⁴²Для обозначения данного явления используется термин «биоинтрузия» (биовторжение) (Performance..., 2001).

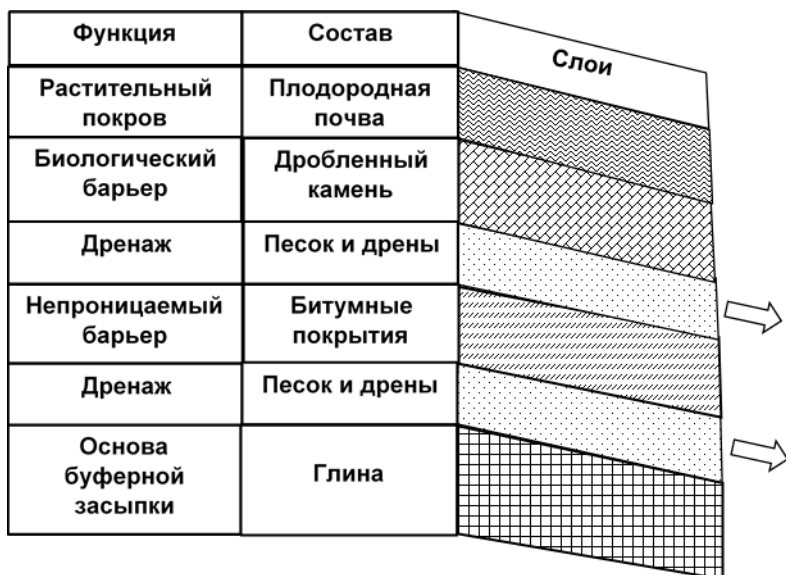


Рисунок 2.11. Типичная структура обложки буферной засыпки (по Potier, 1997)

2.5.3. Техногенные тела – источники физических воздействий

Наибольшее значение геофизическое воздействие техногенных геологических тел проявляется в случаях, когда они сами являются источниками ионизирующих излучений, т.е. радиационного загрязнения среды. Данный фактор способен оказать влияние на процессы жизнедеятельности биологических объектов, включая человека, даже при относительно небольшом превышении своего естественного уровня (Пивоваров, Михалев, 2004). Так, воздействие малых доз ионизирующих излучений снижает иммунитет. По этой причине на участках радиационного загрязнения среды, которое не может вызвать развитие лучевой болезни, среди населения может повыситься смертность от инфекционных заболеваний (Steward, 1993).

Распространено мнение, что основными техногенными источниками ионизирующих излучений являются захоронения радиоактивных отходов. Объективная оценка этой проблемы требует выделить две формы образования подобных тел: санкционированные и несанкционированные. В первом случае радиоактивные отходы перед захоронением преобразуются в химически инертные соединения (например, остекловываются) или помещаются в герметичные упаковки (контейнеры) (Обращение ..., 2014). Кроме того, вокруг них создаются экраны, не пропускающие ионизирующие излучения. Предпринимаются меры по недопущению в местах таких захоронений какой-либо деятельности, способной вызвать разрушение защитных сооружений и герметичность упаковок радиоактивных отходов. Таким образом, в литосфере формируется техногенное тело, как правило, имеющее достаточно большой объем, но не являющееся при соблюдении установленных правил его охраны, источником ионизирующих излучений.

Несанкционированные захоронения радиоактивных отходов, напротив, в большинстве случаев имеют относительно небольшие масштабы и могут рассматриваться как техногенные геологические структуры, а не техногенные геологические тела. Но их экологическая опасность существенно выше. Многие из подобных захоронений возникали во времена, когда последствия радиационного и радиоактивного загрязнения не были еще оценены в полной мере. Нередко они формировались просто в виде относительно неглубоких ям, выкапываемых на территориях научно-исследовательских и производственных организаций, которые после заполнения радиоактивными отходами засыпались слоем грунта, неспособным экранировать исходящие от них ионизирующие излучения. Каких-либо мер, не допускающих миграцию радиоактивных веществ (например, с подземными водами), также не предпринималось. В результате вокруг таких

захоронений могли возникать вторичные радиационно-опасные техногенные структуры. В большинстве случаев эти участки не регистрировались, что нередко было обусловлено закрытым режимом работы организаций, на территориях которых они создавались. В последующий период на этих участках нередко возводились жилые здания, живущие в которых люди не подозревали, что подвергаются воздействию радиации. Масштабность таких явлений характеризуют следующие факты. Авария на Чернобыльской АЭС стимулировала проведение систематического радиологического обследования территории в Европейской части СССР. В результате только на территории г. Москвы уже на первом этапе этих работ было обнаружено около 80 участков незарегистрированного захоронения радионуклидов (Пивоваров, Михалев, 2004). В последующие 10 лет нашли еще около 600 подобных объектов.

Техногенные радиоактивные тела возникали и в результате испытаний ядерного оружия, а также на территориях интенсивного выпадения связанных с ними радиоактивных осадков. За период 1945-1995 гг. в 90 районах планеты было осуществлено 2057 взрывов (Василенко, 1999). К настоящему времени радиационный фон на большинстве этих территорий снизился до безопасного уровня. Вместе с тем, эти участки земной коры, даже не подвергшиеся механической трансформации при распространении взрывных волн, нельзя считать вернувшимися в естественное состояние, поскольку в составе их грунтов и горных пород сохраняются остаточные количества техногенных радионуклидов.

Источником ионизирующих излучений могут являться и некоторые другие виды техногенных и природно-техногенных тел, образующиеся в процессе различных видов деятельности (Безносков и др., 2008) (рис. 2.12). К ним, например, могут относиться отвалы, образующиеся при добыче ряда полезных ископаемых (Gesell, Prichard, 1975; Bolivar et al., 1995; Henze, Weiss, 1995).



Рисунок 2.12. Техногенные и природно-техногенные тела, способные являться источниками ионизирующих излучений

Повышение радиационного фона отмечается также в районах добычи сланцевого газа (Щерба, 2017). Причиной этого являются искусственно вызванные гидроразрывы пластов, приводящие к образованию реструктурированных техногенных тел и миграции к поверхности содержащихся в них радионуклидов.

Техногенными телами-источниками ионизирующих излучений являются оскопления золошлаковых отходов, образующиеся при сжигании каменного угля некоторых месторождений (Сидорова, 2008; Крылов и др., 2015; Сидорова, Крылов, 2016). По этой причине радиационное воздействие их скоплений на участке тепловой

электростанции (ТЭС) может быть существенно выше, чем у АЭС, работающих в штатном режиме (Antic, 1997).

Радионуклиды попадают в почвы для возделывания сельскохозяйственных культур, которые можно рассматривать как разновидность поверхностных техногенных тел, с минеральными удобрениями, особенно фосфорными (Абдулаева, 2012). Скопления радиоактивных отходов могут образовываться и при работе медицинских учреждений (Rushbrook, 1997).

2.6. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ЛИТОСФЕРЫ

Обобщая материалы, изложенные в настоящей главе, можно прийти к заключению, что возникновение техногенных геологических тел способно оказывать значимое влияние на все экологические функции литосферы. При этом последствия могут носить не только негативный, но и позитивный характер (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Влияние техногенных геологических тел на экологические функции литосферы

Экологические функции литосферы	Геоэкологические и социально-экономические последствия	
	Характер последствий	Примеры
Георесурсная	Негативные	Возникновение участков земной поверхности с неблагоприятными экологическими условиями и непригодных для сельскохозяйственного использования

Окончание таблицы 2.1.

Экологические функции литосферы	Характер последствий	Примеры
	Позитивные	Формирования искусственных земельных участков и островов, разработка техногенных месторождений
Геодинамическая	Негативные	Увеличение частоты и масштабов опасных экзодинамических явлений (оползней, провалов, техногенных землетрясений).
	Позитивные	Формирование техногенных тел, препятствующих развитию опасных процессов в геологической среде (укрепление склонов, предотвращение абразионного разрушения берегов)
Геохимическая	Негативные	Нарушение естественных биогеохимических циклов. Формирование экологически опасных техногенных геохимических аномалий
	Позитивные	Создание искусственных геохимических барьеров, препятствующих миграции загрязнителей
Геофизическая	Негативные	Создание искусственных физических полей, оказывающих негативное воздействие на биологические объекты
	Позитивные	Экранирование подземных источников ионизирующих излучений

Следовательно, возможным является комплексное решение проблем в форме *экологической оптимизации техногенных геологических тел*, под которой подразумевается снижение обусловленных ими негативных воздействий на окружающую среду при одновременном усилении их позитивной роли. Но если нежелательные процессы подобного рода в большинстве случаев развиваются самопроизвольно, то трансформация литосферы, сопровождающаяся улучшением экологических и социально-экономических условий, требует осуществления целенаправленных геотехнических мероприятий. Для их разработки необходимо проведение междисциплинарных исследований, одновременно затрагивающих проблемы геологии, геоэкологии и строительных наук.

Подобный методологический подход предполагает принятие *креативной парадигмы природоохранной деятельности* (Суздалева, Горюнова, 2017), которая основывается на активном вмешательстве в процессы техногенеза окружающей среды с использованием всего имеющегося арсенала инженерно-технических средств. Основным направлением реализации этой идеи является создание управляемых природно-технических систем (ПТС). Подробно данный вопрос рассматривается с IX главе монографии.

ГЛАВА III. ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫЕ И НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА

3.1. ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ И ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ

Горнопромышленные и нефтепромысловые техногенные тела возникают в результате накопления отходов добычи полезных ископаемых и их первичной переработки. Их основными формами

являются хвостохранилища, шламохранилища, отвалы, терриконы, а также наземные и подземные хранилища нефтяных отходов. Подобное *разделение горнопромышленных тел* на отдельные категории весьма условно. Достаточно широко распространены сложные образования, включающие структуры, одновременно обладающие свойствами двух и более различных категорий горнопромышленных тел. Примером могут служить техногенные формации, формирующиеся из горных отвалов и намывных хвостохранилищ (см. разд. 3.3).

Хвостохранилища и *шламохранилища* возникают путем перемещения отходов на участки их захоронения в виде густой взвеси – пульпы. В последующий период происходит ее уплотнение в результате отделения воды, которая может повторно (многократно) использоваться для удаления отходов. Таким образом, данная категория техногенных тел первоначально возникает как двухфазное образование, а затем в течение непродолжительного времени трансформируется в твердое тело.

Как правило, хвостохранилища и шламохранилища создаются и эксплуатируются по определенному плану, имея установленные границы и предварительно разработанный порядок их возможного расширения. Следовательно, в большинстве случаев их можно отнести к категории организованных техногенных тел.

Различие между хвостохранилищами и шламохранилищами заключается в том, что первые из этих техногенных тел формируются в основном из *вскрышных* и *пустых пород*. Они часто включают крупноразмерные фракции. Шламохранилища – это скопления *шлавов*, т.е. различных мелко-размерных частиц отходов первичной переработки полезных ископаемых. Например, угольные шламы состоят из раздробленных горных пород, вмещающие залежи угля (Николаева и др., 2012). Так называемый красный шлам является побочным продуктом переработки и обжига бокситов при

производстве алюминия. Около 70% его массы состоит из частиц размером от 1 до 5 мм. При получении 1 т оксида алюминия образуется от 360 до 800 кг красного шлама. Нефтяные шламы состоят из смеси нефтепродуктов, глины, песка, оксидов металлов и воды, образующих пастообразную субстанцию черного-серого цвета.

Шламохранилища часто рассматриваются как разновидность хвостохранилищ⁴³. Нередко их формирование происходит одновременно или осуществляется на соприкасающихся участках.

Отвалы – это насыпи из вскрышных и пустых пород, обычно возникающие при открытых горных выработках. Как правило, их протяженность значительно превышает высоту.

Терриконы (терриконики) – это насыпи из твердых отходов, имеющие конусообразную форму и возникающие при складировании отходов на ограниченном пространстве. Обычно терриконы возникают при закрытом способе добычи полезных ископаемых. Их высота сопоставима с протяженностью по горизонтали.

Хранилища нефтяных отходов можно разделить на две категории: поверхностные (нефтешламовые амбары) и подземные (закачка отходов в поглощающие пласты и искусственно создаваемые подземные пустоты).

Таким образом, основную часть горнопромышленных тел можно отнести к категории поверхностных техногенных геологических тел. В отличие от них **нефтепромысловые тела** на современном этапе все чаще формируются в толще горных пород, т.е. формируют глубинные техногенные геологические тела. Практически все виды горнопромышленных и нефтепромысловых тел подвержены интенсивной химической, физико-химической и механической

⁴³В качестве разновидности хвостохранилищ также рассматриваются намывные скопления золошлаковых отходов, образующихся при сжигании или термической переработке полезных ископаемых.

трансформации. Большинство из них содержит токсичные вещества или они могут образовываться в процессе их химической трансформации, слагающих их материалов (Ханчук и др., 2011; Грехнев, Рассказов, 2016). По этим причинам горнопромышленные и нефтепромысловые тела оказывают значимое и, как правило, **крупномасштабное негативное воздействие на состояние окружающей среды**, которое включает:

- уничтожение естественных экосистем на площади образования горнопромышленных и поверхностных нефтепромысловых тел;
- возникновение опасных геодинамических явлений – оползней, обвалов селей, карстово-суффозионных провалов и др.;
- загрязнение окружающей среды в результате водной эрозии и воздушной эрозии (дефляции);
- просачивание токсичных продуктов в подземные воды и распространение загрязнителей в земной коре;
- выделение в приземный слой воздуха газообразных веществ, образующихся при химической трансформации отходов (например, при горении угольных терриконов).

Кроме того, формирование крупных отвалов, увеличивая давление на земную поверхность, может также вызвать подъем грунтовых вод и подтопление окружающей территории (Гальперин и др., 2006а). В результате вокруг них образуется кольцо заболоченных участков, что приводит к деградации на них ранее существовавших природных экосистем.

Распространение в окружающей среде компонентов горнопромышленных и нефтепромысловых тел нередко вызывает формирование различных **вторичных техногенных тел**. В результате миграции техногенных компонентов через подземные воды в горные массивы, подстилающие хвостохранилища, отвалы и терриконы, могут возникнуть сопряженные техногенные тела, техногенные геологические формации и зоны техногенного

влияния. Попадание компонентов горнопромышленных тел в результате их водной эрозии в речные бассейны и последующее их осаждение в форме наносов приводит к образованию седиментационных техногенных тел. К возникновению геохимических аномалий в районе их размещения может привести и дефляция вещества (пыление) с их поверхности (Зубов и др., 2012).

В результате вокруг многих крупных горнопромышленных и нефтепромысловых тел возникают обширные участки окружающей среды, иногда простирающиеся на десятки километров и характеризующиеся повышенным уровнем содержания различных загрязнителей в воде, почве и воздухе.

Нестабильность горнопромышленных и нефтепромысловых тел, в сочетании с их большими объемами и близостью к населенным пунктам, делает их объектами, представляющими непосредственную угрозу для жизни людей не только как источник токсичных веществ (Николаева и др., 2012). Так, в Венгрии 2010 г. при разрушении ограждения шламохранилища при заводе по производству алюминия в районе г. Айка возник селевой поток объемом около 1 млн м³ красного шлама. Это вызвало не только крупную экологическую катастрофу, затронувшую бассейн р. Дунай, но и гибель 10 человек. Общее количество пострадавших превысило 140 человек.

Запасы всех месторождений полезных ископаемых ограничены и при их исчерпании работа на этих объектах прекращается. Вместе с тем, возникшие в результате этой деятельности техногенные тела продолжают оставаться важным элементом техногенно трансформированной среды, влияющим на ее состояние (Шарапова и др., 2017). Таким образом, в процессе формирования горнопромышленных и нефтепромысловых тел (или более широко – в процессе горнопромышленного техногенеза территории) можно выделить активную стадию и пассивную стадию (Елохина, 2013; Грязнов, Елохина, 2017). Первая из них охватывает период

разработки месторождения и накопления массы горнопромышленных и нефтепромысловые тел. Пассивная стадия начинается после прекращения добычи полезных ископаемых. Если на активной стадии первостепенное значение имеют техногенные процессы (намыв или отсыпка скоплений отходов), то на пассивной стадии основное значение приобретают природно-техногенные процессы, заключающиеся в многоплановой трансформации техногенных тел под воздействием естественных факторов (водной эрозии и др.) и человеческой деятельности (рекультивационных мероприятий и хозяйственного использования территории).

Рекультивация участков горнопромышленных тел не может восстановить характер первоначального рельефа. Так, проекты создания на участках заброшенных терриконов рекреационных зон включают не их ликвидацию, а превращение в покрытые растительностью возвышенности. Для обозначения подобных территорий используется специальный термин «горнопромышленный ландшафт». Это понятие не только получило широкое распространение в научной литературе, но и отражено действующей нормативно-правовой базе РФ. Так, пункт 15 ГОСТ 17.5.1.01-83 «Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения» содержит следующее определение: горнопромышленный ландшафт – техногенный ландшафт, структура и формирование которого обусловлены деятельностью горнодобывающей и горно-перерабатывающей промышленности. Аналогично определения термина нефтепромысловый ландшафт в действующей нормативно-законодательной базе РФ пока нет. Вместе с тем, подобные территории, подвергшиеся специфической техногенной трансформации, давно уже существуют в ряде регионов. Об их масштабах свидетельствует тот факт, что ежегодно в нефтедобывающих компаниях РФ образуется более 1 миллиона тонн нефтешламов и нефтезагрязненных грунтов (Тимошин и др., 2016).

Многие горнопромышленные тела уже существуют в течение многих десятков лет, а некоторые даже века и тысячелетия. Большинство из них не связано текущей деятельностью по добыче полезных ископаемых и представляет собой исторические техногенные тела. Содержание полезных компонентов в некоторых из них делает их извлечение при использовании современных технологий экономически выгодным, и они переходят в категорию техногенных месторождений. К историческим можно отнести и многие существующие нефтепромысловые тела, но их использование в обозримом будущем для получения сырья представляется маловероятным.

3.2. ХВОСТОХРАНИЛИЩА И ШЛАМОХРАНИЛИЩА

Хвостохранилища и шламоохранилища, как правило, представляют собой крупномасштабные тела, занимающие десятки гектаров территории. Мощность хвостохранилищ, т.е. толщина намывого слоя, в их центральных частях может достигать 50-100 м (Гальперин и др., 2006а). Они формируются из водонасыщенных тонкодисперсных материалов, процесс уплотнения которых происходит в течение десятков лет. В результате над поверхностью законсервированных хвостохранилищ могут возникать обширные скопления вод, в большинстве сильно загрязненных растворимыми компонентами отходов. Некоторые исследователи обозначают их термином техногенные озера (Бортникова и др., 2003)⁴⁴.

Хвостохранилища обладают низкой несущей способностью и строительство на занятых ими участках после окончания намыва невозможно. Кроме того, водонасыщенность материала хвостохранилищ и образование на них техногенных озер, создают

⁴⁴ Подобные техногенные озера образуются не только на выведенных из эксплуатации хвостохранилищах, но и на действующих, обычно на участках, удаленных от выхода пульпопровода.

угрозу затопления окружающих территорий при повреждении ограждающих дамб. В этих условиях существует значительный риск возникновения селевых потоков.

Большинство хвостохранилищ размещается на земной поверхности, в связи с чем их обозначают как поверхностные или высотные (Мельников и др., 2012). Вместе с тем, также существуют заглубленные хвостохранилища, организуемые в выработанных карьерах, а также аналогичные подземные объекты, представляющие собой заполняемые отходами (часто различными шламами) отработанные шахты и естественные полости земной коры. Нефтяные шламы в ряде случаев закачивают в скважины. Но наиболее распространенными и крупными по объему являются поверхностные (высотные) хвостохранилища. Их классифицируют по видам исходя из нескольких критериев. Так, по способу возведения ограждающих дамб среди них выделяют намывные (бесплотинные) и наливные (плотинные).

В зависимости от особенностей рельефа они делятся на равнинные, овражные (овражно-балочные), пойменные, косогорные, котлованные. Равнинные формируются на ровной местности путем обвалования по всему периметру (рис. 3.1). Овражные хвостохранилища размещаются в складках рельефа – оврагах или балках, перегораживаемых плотиной. Пойменные хвостохранилища создаются в поймах рек путем обваловывания, препятствующего их размыву паводковыми водами. Косогорные хвостохранилища устраиваются на склонах и также ограждаются с трех сторон дамбами. При создании котлованных и котловинных хвостохранилищ используются искусственно созданные выемки (котлованы и карьеры) или естественные понижения рельефа (котловины). Для увеличения емкости таких хвостохранилищ их периметр иногда также ограждается дамбами.

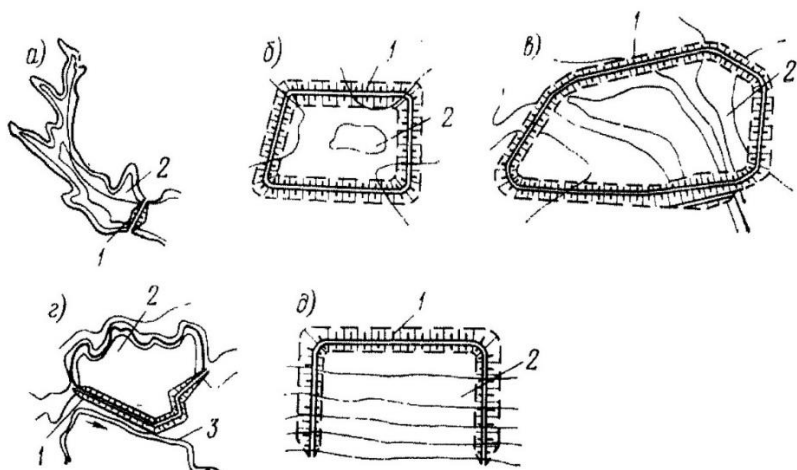


Рисунок 3.1. Основные типы хвостохранилищ: а – овражное; б – равнинное; в – овражно-равнинное; г – пойменное; д – косогорное; 1 – дамба; 2 – ложе хвостохранилища; 3 – река. (по Рекомендации ..., 1975)

Материал, слагающий тела намывных наземных хвостохранилища в большинстве случаев на их различных участках неоднороден. То есть обычно они формируются как гетерогенно зональные тела. Это происходит, например, вследствие изменения состава пульпы на различных этапах горнопромышленной деятельности. На первом этапе она может состоять из компонентов вскрышных, а затем пустых пород⁴⁵. В дальнейшем же пульпа формируется из шламов, возникающих при первичной переработке добытых ископаемых. Другой причиной является различие в характере пространственного размещения компонентов пульпы при ее растекании. Происходит гидравлическая дифференциация взвеси: более крупный и тяжелый материал осаждается в так называемой «пляжной» зоне хвостохранилища, более мелкий – в

⁴⁵ На этом этапе и иногда обозначают как намывные отвалы.

«прудковой». Таким образом, в хвостохранилищах из материалов, ранее слагавших естественную горную породу (или из смеси пород, если разрабатывается одновременно несколько породных слоев) образуется фациальный ряд техногенных горных пород.

Часто зональность хвостохранилищ создается целенаправленно путем управления потоками пульпы, их разделением на несколько направлений с различным составом транспортируемого материала. Таким образом, например, по краям потока пульпы формируются барьеры из крупноразмерного материала. Подобные образования, обозначаемые как «боковые упорные призмы», удерживают от растекания по значительной поверхности более подвижный материал пульпы (Рекомендации ..., 1975).

Хвостохранилище может формироваться и как гетерогенное стратифицированное тело. Наиболее распространенными причинами этого являются различие в составе пульпы, сбрасываемой в хвостохранилище в отдельные периоды времени и расслоение материала хвостохранилища в последующий период, вследствие различной плотности составляющих его компонентов. Процессы формирования горизонтальной и вертикальной гетерогенности могут протекать независимо друг друга. Так, стратификация толщи хвостохранилища может наблюдаться в различных его зонах. Причем ее характер и состав образовавшихся слоев будут отличаться. В результате многие хвостохранилища имеют сложное геологическое строение, что необходимо учитывать в последующем, когда они начинают рассматриваться как техногенные месторождения.

Весьма часто горнопромышленные хвостохранилища создаются не как скопления отходов одного объекта, а их группы (например, при одновременной разработке нескольких карьеров). В тех случаях, когда подобные тела разделены на несколько отдельных

образований, но функционально взаимосвязаны⁴⁶, они могут рассматриваться комплексное техногенное тело.

3.3. ГОРНЫЕ ОТВАЛЫ И ТЕРРИКОНЫ

В общепринятом значении термин горный отвал обозначает инженерное сооружение, создаваемое для организованного складирования вскрышных горных пород (Рекомендации ..., 1985). Возникающие при этом поверхностные техногенные тела могут иметь весьма значительные масштабы. Так, на открытом способе разработки рудных месторождений объем извлекаемых и размещаемых в отвалах пустых пород в несколько раз превышает объем добываемого полезного ископаемого. На крупных карьерах он иногда достигает десятков миллионов кубометров в год.

Горные отвалы весьма разнообразны по своему составу и структуре. В связи с этим одновременно существует несколько их различных классификаций. Так в зависимости от высоты различают *низкие горные отвалы* (до 20 м), *средней высоты* (20-50 м) и *высокие* (свыше 50 м). По местоположению они подразделяются на **внутренние** (отвалообразование ведется в контурах карьера) и **внешние** (вне карьерного контура), а по числу ярусов на *одно- двух- и многоярусные*.

Выбор мест для размещения внешних отвалов осуществляется на основе одновременного учета следующих факторов:

1. Отвалы должны располагаться как можно ближе к горной выработке, что минимизирует затраты на транспортировку предназначенного для отсыпки в них материала. Рельеф

⁴⁶ Например, их влияние на экологическую ситуацию (пыление, загрязнение речного бассейна и др.) носит совокупный характер, не позволяющий выделить воздействие какого-либо одного из этих объектов объекта.

окружающей территории не должен создавать препятствия для прокладки к ним подъездных путей и их эксплуатации.

2. Под участками отвалов не должны находиться запасы полезных ископаемых, пригодных к разработке открытым способом в ближайшее время.

3. Для размещения отвалов желательно отводить участки, непригодные или малопригодные для сельскохозяйственного использования или иных форм экономически выгодного освоения.

4. Планируемая площадь отвалов должна быть достаточной для размещения всего объема вскрышных и пустых пород.

5. Формирование отвалов необходимо осуществлять таким образом, чтобы в обозримой перспективе их массивы не создавали препятствий для развития горных работ.

Материалы, слагающие отдельные ярусы часто различаются по своему составу и свойствам, а иногда и по способу формирования. В этих случаях для обозначения процесса формирования отвала используется термин **«селективное складирование»**. В результате которого образуется гетерогенно-стратифицированное горнопромышленное тело (рис. 3.2). Оно может сохранять свою структуру и в процессах дальнейшей трансформации, например, при деформации отвала при образовании оползней (рис. 3.3). Один отвал может использоваться для обслуживания нескольких вскрышных участков и обозначаться как **общий** или **групповой отвал**, который может рассматриваться как комплексное горнопромышленное тело.

Как правило, под термином горный отвал подразумевают **сухие отвалы** или отвалы сухой породы, состоящие из сыпучего материала, перемещаемого экскаваторами или иными машинами. Но помимо них существуют также **гидроотвалы**, которые формируются путем намыва пульпы. По их периметру обычно создаются оградительные дамбы.

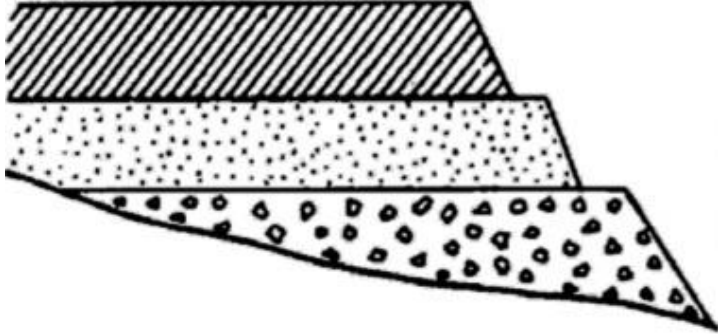


Рисунок 3.2. Многоярусный горный отвал, состоящий из различных по своему составу слоев, созданный путем селективного складирования (по Туманова и др., 1991)

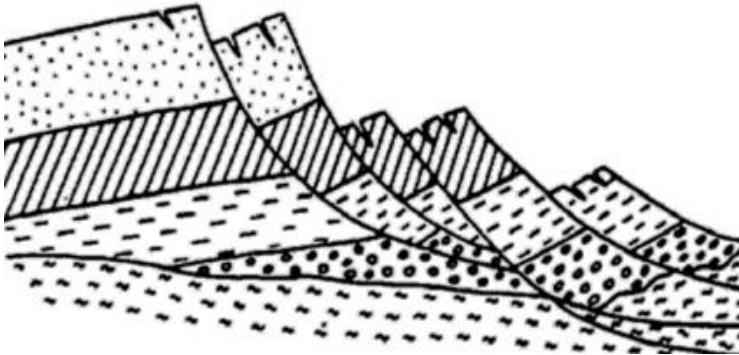


Рисунок 3.3. Деформированный многоярусный горный отвал (по Туманова и др., 1991)

Разделение гидроотвалов и хвостохранилищ носит условный характер и основывается главным образом продолжительности сроков создания. Считается, что гидроотвал – это результат отдельного этапа разработки горной выработки, а хвостохранилище предназначено для длительного функционирования горнодобывающего или горно-обогатительного предприятия. В

ряде случаев горный отвал формируется с использованием как отсыпки материала, так и его гидронамыва. При этом возможны комбинации различных слоев и зон образующегося горнопромышленного тела (рис. 3.4). Так, гидроотвалы после отведения из них вод и уплотнения могут использоваться как основание для сухих отвалов. В других случаях, напротив, плоские сухие отвалы используются как основания для намыва гидроотвалов.

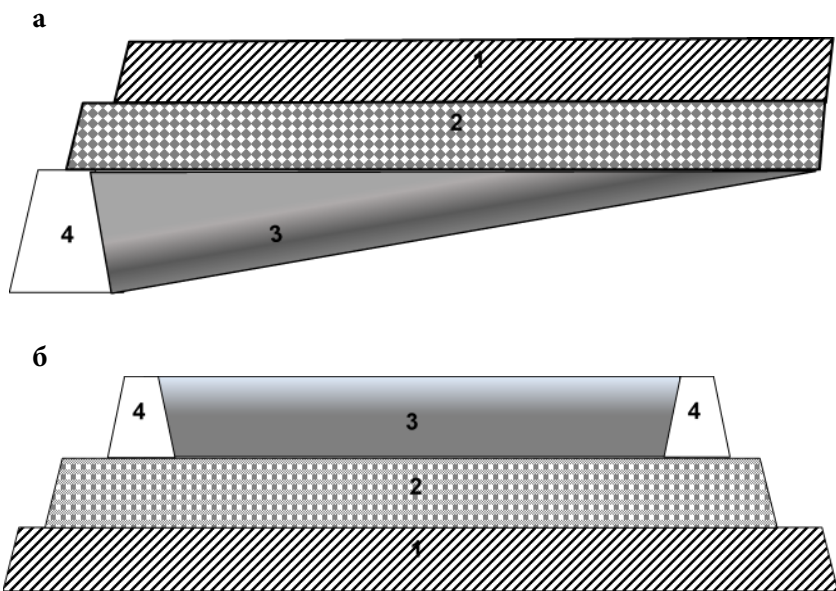


Рисунок 3.4. Варианты строения комбинированных отвалов: а – сухой многоярусный отвал на гидроотвале; б – гидроотвал на сухом плоском двухъярусном отвале; 1-2 – ярусы сухого отвала; 2 – гидроотвал; 4 – оградительная дамба (по Туманова и др., 1991)

В тех случаях, когда пласты, слагающие подобные комбинированные отвалы, достигают масштабов, позволяющих

считать их отдельными техногенными телами, они в совокупности могут рассматриваться как техногенная геологическая формация.

Одной из основных проблем при формировании отвалов является опасность образования оползней. Проблема усугубляется тем, что часто отвалы размещают на склонах. По этой причине оползни, образующиеся на отвалах, делят на надподошвенные, подошвенные и подподошвенные (Фисенко, 1965). В первом случае поверхность скольжения полностью формируется в породах отвала. Поверхность скольжения подошвенных оползней проходит по границе отвала и его основания, т.е. поверхности склона, на котором формируется отвал. При возникновении подподошвенного отвала поверхность скольжения формируется в толще его основания. Подобный оползень захватывает часть материала склона, на котором создавался отвал.

Организованное формирование горных отвалов, позволяющие **снизить риск возникновения оползней** или минимизировать их последствия, осуществляется **двумя основными способами:**

а) создание отвалов с обязательным обеспечением устойчивости отвальных сооружений на основе укрепления их склонов, а также формирования откосов определенного наклона и уступов;

б) формирование отвалов, допускающее управляемую деформацию их откосов (например, путем создания участков с рельефом, ограничивающим распространение оползней, или возведение специальных сооружений, выполняющих эту функцию).

Откосы и уступы создаются благодаря упорядоченному размещению этих материалов и приданию поверхности отвала определенной формы с помощью специальной передвижной техники (бульдозеров, экскаваторов и др.). При этом общие габариты и структура горного отвала определяются как приемлемый компромисс между затратами на его создание и устойчивостью (безопасностью). С одной стороны, увеличение высот и крутизны отвальных уступов и отвала в целом ведет к уменьшению

занимаемой под него площади, сокращению протяженности транспортных коммуникаций и к увеличению производительности работ по размещению отходов горной выработки. С другой стороны, эти же факторы повышают риск оползней, а также других опасных и нежелательных процессов экзогенной геодинамики (обвалов, селей, интенсификации водной эрозии и др.). Приемлемое решение зависит от физико-технических свойств материалов, слагающих отвал, в частности их степени разрыхления и влажности. Важным условием является несущая способность пород, лежащих в основании отвала.

Термин *террикон* или терриконик происходит от французских слов *terri* – отвал породы и *conique* – конический. Эта категория горнопромышленных тел возникает в результате «точечной» отсыпки сухого материала вскрышных и пустых пород, при подземных выработках полезных ископаемых. Поскольку отсыпка терриконов осуществляется на их вершине (например, путем подъема шахтных отходов вагонетками по рельсам, проложенным по склону) они, действительно, в большинстве случаев имеют коническую форму. Но существуют и гребневидные терриконы, возникающие в результате последовательного смещения точки отсыпки слагающего их материала.

Терриконы при равном объеме занимают значительно меньшие участки, чем отвалы и хвостохранилища. Другой экономически выгодной особенностью терриконов является сокращение пути перевозки горнопромышленных отходов. Но эти возможности в полной мере реализуются только в случаях, когда складированные отходы доставляются с ограниченного участка, например, поднимаются из шахты. Наиболее распространены терриконы из отходов угледобывающих предприятий. Но существуют и другие. Примером может служить «Белый террикон» в Донбассе, образовавшийся при разработке месторождения мела.

Площадь, занимаемая терриконом, определяется его высотой. Так, при высоте 23 м площадь основания составляет 5 тыс. м², при высоте 45 м – 18 тыс. м², при высоте 63 м – 55 тыс. м². Подавляющее большинство крупных терриконов сформировалось в период с конца XIX века по вторую половину XX века. Современные технологии добычи угля предусматривают закладку пустой породы в выработанное шахтное пространство, что приводит к образованию глубинного техногенного геологического тела. Вскрышные породы при разработке этих месторождений формируют относительно невысокие отвалы.

Угольные терриконы, вероятно, являются наиболее крупномасштабными обособленными техногенными телами. В Донбассе каждую добытую тонну угля приходилось от 300 до 500 килограммов пустой породы. За десятилетия работы шахт в регионах подземной угледобычи образовались поверхностные техногенные тела с массой в миллионы тонн. Некоторые из них по своим размерам стали сравнимы с элементами естественного макрорельефа. Самый крупный террикон Европы «Шарлотта» расположен в Польском шахтерском городке Ридултовы. Его относительная высота 135 м. Огромный конгломерат из трех терриконов (относительная высота самого крупного из них – 121 м) сформировался в результате работы шахты имени Челюскинцев в г. Донецке. Данные терриконы получили название «Три товарища» и в совокупности могут рассматриваться как комплексное техногенное тело.

Обычно, одна из сторон террикона, по которой транспортируются продукты переработки горной породы, пологая с углом наклона около 20°, противоположная и боковые стороны – крутые с углом наклона 45-60°. По своей структуре это гетерогенно-зональные и гетерогенно-стратифицированные техногенные тела. Зональность терриконов возникает в результате двух основных причин. Первая из них – различие материалов, из которых они

слагаются на отдельных этапах. Вначале формируется скопление из обломков и частиц вскрышных пород, затем отсыпаются отходы, полученные в ходе угледобычи. Нередко это принимает форму образования четко выраженных слоев, т.е. приводит к стратификации тел терриконов. Вторая причина зональности – это неравномерность процессов физико-химической трансформации, происходящей в различных частях толщи терриконов, прежде всего, возникновение очагов горения (рис. 3.5).

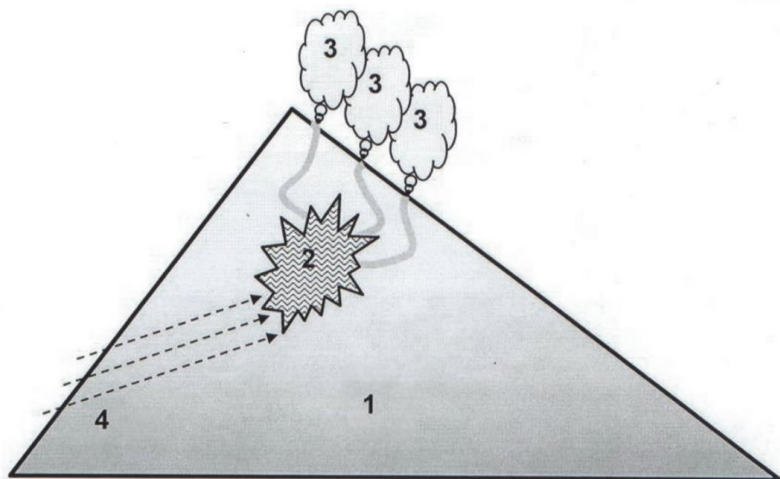


Рисунок 3.5. Схема горящего угольного террикона: 1 – тело террикона; 2 – очаг горения; 3 – газы, выделяющиеся через фумаролы; 4 – воздушная продувка через поры в теле террикона

Несмотря на предпринимаемые меры, этот процесс получил широкое распространение (Саранчук, 1978). Поэтому горение остатков каменного угля, в определенной степени, можно даже рассматривать как отличительную особенность терриконов, сформировавшихся при угольных шахтах. Так, в Донецкой области из существующих 580 терриконов, 114 являются горящими. Эти процессы длятся десятилетиями. Температура внутри горящих

терриконов достигает 1000-1250°C. Выделяющиеся газы с температурой до 500°C по составу во многом аналогичны газам, образующимся при коксовании каменного угля. В толще терриконов формируются отложения расплавленных материалов, включающих различные техногенные минералы (Чесноков, 1997; 2001).

Причина горения терриконов заключается не столько в наличии в их составе угольных частиц и минералов (пиритов и др.), окисление которых происходит с выделением большого количества тепла, сколько в высокой пористости слагающих их материалов. Это обеспечивает воздушную продувку тела террикона, поддерживающую данный процесс (Абдулатипов, 2014). Выделяющиеся из горящих терриконов газы могут вызвать не только химическое загрязнение атмосферы, но и повышение радиационного фона на прилегающей к ним обширной территории.

Горение терриконов иногда сопровождалось их мощными взрывами. Так, в мае 1966 г. произошел взрыв террикона в районе г. Димитрово (Донецкая область). Больше всего пострадал жилой поселок Нахаловка, в котором погибло более 60 человек. Первопричиной этой трагедии являлись сильные ливневые дожди, спровоцировавшие оползень на одном из терриконов. В результате открылось жерло техногенного «вулкана» и из-за резкой смены температуры, а также попадания в него воды произошел взрыв. Несколькими годами раньше в том же районе подобная техногенная авария произошла на терриконе шахты «Трудовская». Она обошлась без жертв только потому, что вблизи не было жилых домов.

3.4. НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА

Основными видами отходов нефтедобычи являются: **буровой шлам**, отработанный **буровой раствор** и **буровые сточные воды**. На первых этапах разработки нефтяных месторождений их

захоронение осуществлялось путем организации так называемых **шламовых (нефтешламовых) амбаров**. В большинстве случаев они представляли собой неглубокие (длиной 50-100 м) выемки грунта (рис. 3.6), создаваемые около добычных нефтяных скважин, куда сливались их жидкие отходы, образующиеся в процессе эксплуатации. Объем амбара, обслуживающего одну скважину, обычно составлял около 500 м³. Нефтешламы, размещаемые в амбарах, обычно состоят из 10-56% нефтяных фракций (как правило, тяжелых), 30-85% воды, 1,3-46% твердых примесей. Содержимое амбаров достаточно быстро разделяется на три слоя. Верхний из них состоит из водной эмульсии нефтепродуктов, средний слой формируется из загрязненной нефтепродуктами воды, а нижний слой представляет собой пропитанный нефтепродуктами осадок твердых частиц (Тимошин и др., 2016).

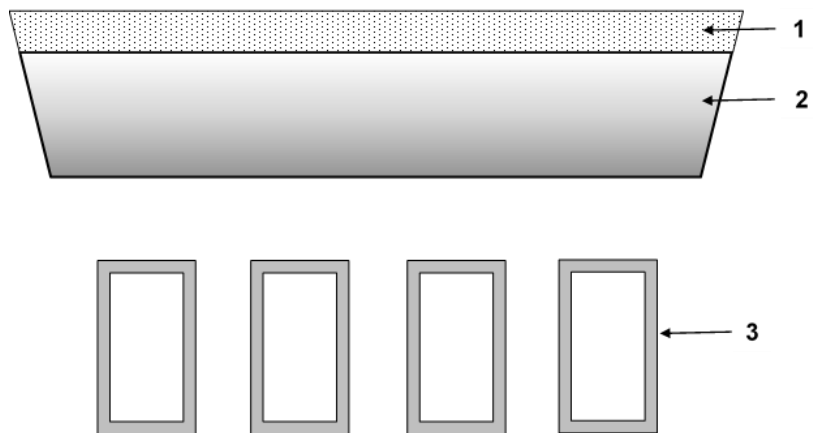


Рисунок 3.6. Схема нефтешламового амбара: 1 – песчаная засыпка поверхности; 2 – отходы бурения; 3 – группа нефтешламовых амбаров

Нередко нефтешламовые амбары, создаваемые для куста близ расположенных скважин, покрывали значительную территорию,

являясь значимым фактором формирования экологической ситуации региона в долговременной перспективе (Суздалева, Гальцова, 2015). Таким образом происходило формирование крупномасштабных захоронений нефтяных отходов, неминуемо сопровождавшееся ухудшением экологического состояния или даже полным уничтожением обширных участков естественных экосистем. С точки зрения второй геологии подобные образования являются комплексными техногенными телами.

Отходы бурения, накапливающиеся в шламовых амбарах, содержат широкий спектр органических и неорганических загрязнителей. Это не только вещества, входящие в состав нефтепродуктов и образующиеся при их первичной переработке. В их число также входят материалы и химреагенты, используемые для приготовления и обработки буровых растворов (полиакриламид (ПАА), конденсированная сульфитспиртовая барда (КССБ), карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) и др.). Значительная часть материала нефтешламовых амбаров является загрязнителями, распространяющимися из них в окружающую среду. Ежегодно за пределы этих скоплений отходов уходит до 6,5 % их содержимого. По этой причине во внешнюю среду поступает до 10% от использованных в буровых растворах материалов и химреагентов. (Чуктуров и др., 2012). Подобные процессы уже привели к возникновению в нефтепромысловых районах устойчивых геохимических аномалий (Московченко, 1998). Проникая в поверхностные воды и воздух, отходы нефтедобывающих предприятий создают угрозу для здоровья людей (Савченко, 1998). При этом следует обратить внимание на то, что значительная часть нефтяных отходов может при контакте с воздухом, водой почвой изменять свой химический состав. Следовательно, нефтешламовые амбары являются трансформируемыми техногенными телами. Причем, образующиеся в них вещества могут обладать более высокой токсичностью и миграционной способностью. Например,

это фенолы, образующиеся при окислении содержащихся в нефти ароматических углеводородов. Они хорошо растворимы в воде и высокотоксичные.

Просачивание нефтепродуктов в почвенный покров приводит к возникновению особого вида экологически опасных грунтов, обозначаемых как *нефтеземы* или *нефтолеумные почвы* (Герасимова и др., 2003). Нефтепродукты и вещества, возникающие в результате их трансформации, мигрируют в составе подземных вод (Велин, 2018; Красноперова, 2018). При определенных условиях они способны проникать и в подстилающие горные породы, преобразуя их в сопряженные техногенные тела, которые по аналогии с нефтезагрязненными почвами можно обозначить как *нефтолеумные техногенные тела*. На рисунках 3.7-3.8 представлены схемы загрязнения геологической среды, в результате которых возникают подобные агрегации техногенных тел, в совокупности формирующих техногенную геологическую формацию.

Вследствие различной миграционной способности отдельных фракций нефтепродуктов по своей структуре нефтепромысловые тела (или при более крупных масштабах – формации) могут быть как гетерогенно-зональными (рис. 3.7), так гетерогенно-стратифицированными (рис. 3.8), или сочетать признаки обеих форм гетерогенности.

С целью предотвращения миграции загрязнителей из нефтешламowych амбаров предпринимался комплекс различных мер. Их дно покрывалось гидроизолирующей прокладкой, предназначенной для недопущения проникновения отходов в подстилающие грунты и горные породы. Для предотвращения распространения загрязнителей поверхностными водами и через воздушную среду поверхность нефтешламowych амбаров после их наполнения иногда просто засыпалась слоем песка.

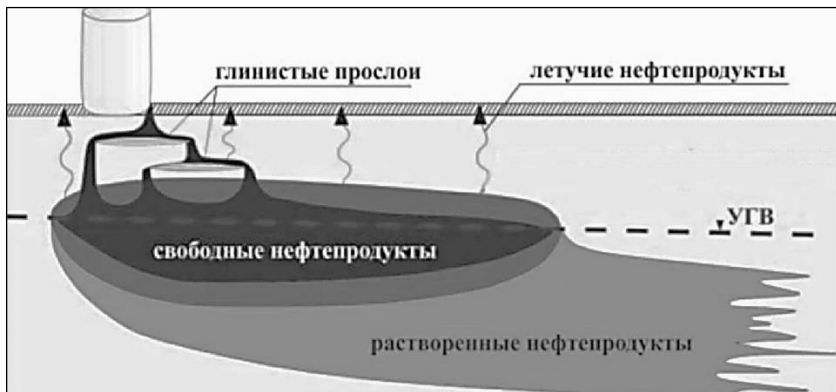


Рисунок 3.7. Схема распространения различных форм нефтяного загрязнения в грунтовых водах: УГВ – уровень грунтовых вод (по Велин, 2018)

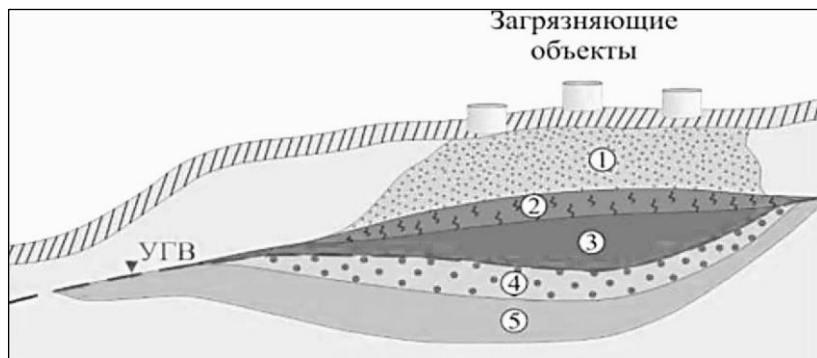


Рисунок 3.8. Обобщенная схема углеводородного загрязнения геологической среды: 1 – зона газообразных углеводородов, 2 – зона зачехленных углеводородов (в порах УГВ), 3 – зона углеводородного насыщения (линза жидких нефтепродуктов), 4 – зона капельных углеводородов в воде, 5 – зона эмульгированных и растворенных углеводородов, УГВ – уровень грунтовых вод (по Велин, 2018)

В других случаях на их поверхности осуществлялись различные рекультивационные мероприятия (например, организация лесопосадок – «лесная рекультивация»). Вместе с тем, эффект от подобных мер мог носить лишь временный характер, а нередко вообще не давал желаемого результата по причине высокой миграционной способности веществ входящих в состав нефтяных отходов. Поэтому, на современном этапе планируется ликвидация нефтешламовых амбаров, сопровождающаяся утилизацией их содержимого, путем сжигания и иными способами, в т.ч. использованием для производства строительных материалов (Ахметов и др., 2011; Тимошин и др., 2015; Петровский и др., 2018). Вместе с тем, даже в случае полной ликвидации всех нефтешламовых амбаров (что на практике нереально) возникшие при их существовании петролеумные тела и геохимические аномалии сохраняются.

В последние годы все большее распространение в нефтедобывающей отрасли получила технология так называемого **«безамбарного бурения»** (Чуктуров и др., 2012). Это подразумевает сбор нефтяных отходов в герметичные резервуары и их последующую утилизацию при помощи специального оборудования. Одновременно разрабатываются и осуществляются проекты размещения нефтяных отходов в толще земной коры, где они будут изолированы от окружающей среды. При этом решение проблемы их тафономирования осуществляется двумя различными путями:

- путем закачки нефтяных отходов в так называемые принимающие (поглощающие) пласты;
- строительством для их размещения специальных подземных хранилищ.

В современных научных публикациях нередко подчеркивается экологическая безопасность подобного решения проблемы. Во многих случаях основой для подобных утверждений является

сравнение этих методов с нефтешламовыми амбарами или неорганизованными сбросами нефтяных отходов в водные объекты. Вместе с тем, во всех случаях эта деятельность неизбежно приводит к образованию в земной коре глубинных техногенных тел и, следовательно, может рассматриваться как разновидность техногенеза литосферы. Кроме того, уже известны случаи, когда отходы, закачанные в глубокие подземные слои, выходили на поверхность, и наносили значимый экологический ущерб (Котенок, Оганов, 2007). Это может, например, произойти при наличии или образовании в поглощающем пласте трещин, простирающихся до пересечения с другой скважиной, консервация (окончание) которой были проведены неудовлетворительно. Закачанные в пласт жидкие отходы находятся под значительным давлением. Попадая в ствол нефункционирующей скважины, они поднимаются по нему к поверхности и нарушая герметичность ее недостаточно надежно зацементированного устья, могут вызвать масштабное загрязнение среды.

Закачка отходов бурения и нефтедобычи в принимающие подземные пласты обозначается как **технология «реинджекшен»** (Галян, Швец, 2008; Середина и др., 2015). Подобные пласты также обозначаются как **поглощающие** (Ефремкин, Рогозин, 2013). Необходимым условием является предварительная очистка отходов от крупноразмерных частиц на ситах. Отделяемые материалы либо утилизируются отдельно, либо подвергаются раздроблению. Закачка отходов на глубину осуществляется в форме жидкостей, которые могут содержать лишь мелкие частицы твердого вещества. Кроме того, использование технологии «реинджекшен» требует соблюдения еще двух условий. Во-первых, должна иметься геологическая возможность для закачивания отходов в глубокие слои, т.е. должен существовать некий принимающий пласт, способный поглотить большой объем жидкости, содержащей мелкоразмерные взвеси. В ряде случаев в качестве него

предполагается использовать выработанный нефтегазоносный горизонт, замещая добытые из него углеводороды отходами. Во-вторых, принимающий пласт сверху и снизу должен быть ограничен водоупорными слоями, способными предотвратить миграцию содержащихся в отходах загрязнителей с подземными водами.

Технология «реинджекшен» использует в нескольких вариантах:

1) закачивание отходов в затрубное пространство, окружающее канал скважины;

2) закачивание отходов в специально пробуренную скважину для этой цели, иногда обозначаемой как поглощающая скважина;

3) закачивание отходов в скважину после завершения буровых работ, что предполагает организацию резервуара для их временного хранения в предшествующий период.

Первый и третий вариант обычно применяются при разведочном бурении одной или двумя скважинами. Использование второго варианта целесообразно только при долгосрочной разработке месторождения с большим числом эксплуатационных скважин.

Возведение *специальных подземных хранилищ для нефтяных отходов*, например, начиная с 2011 г. осуществляется на Бованенковском нефтегазоконденсатном месторождении (НГКМ) на полуострове Ямал (Вакуленко и др., 2016). С этой целью в толще многолетнемерзлых осадочных пород создаются резервуары объемом от 2000 до 5000 м³ (рис. 3.9). Для этого используется метод скважинной гидродобычи (СГД), который заключается в разрушении мерзлых песчаных пород подогретой водой и подъеме образующейся пульпы на поверхность через скважины (Аренс и др., 2007). Неминуемым последствием этого является формирование намывных отвалов. Кроме того, на некоторых участках подобных хранилищ уже образовались просадки грунта в виде воронок.

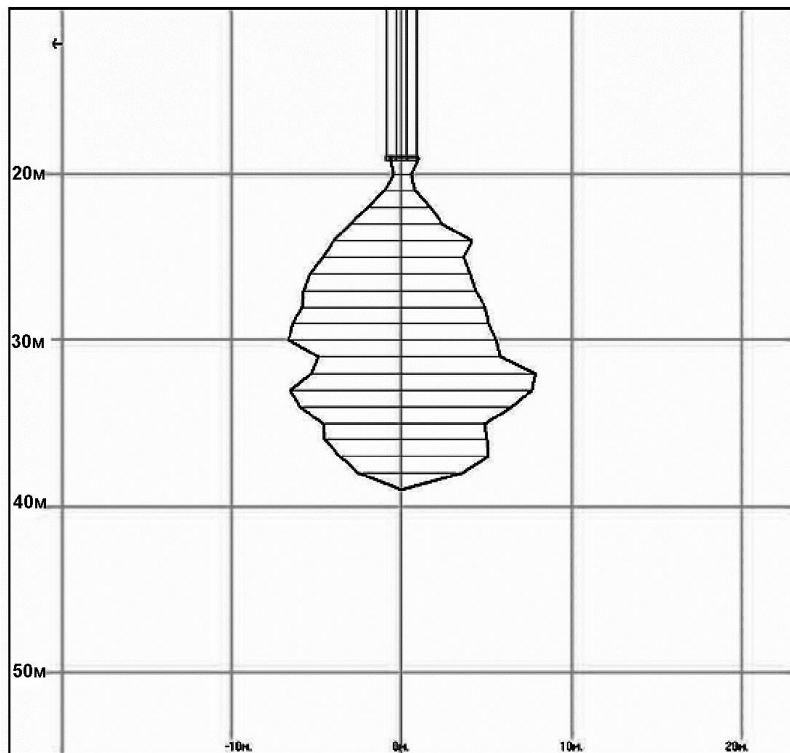


Рисунок 3.9. Резервуар для захоронения нефтяных отходов в толще многолетнемерзлых пород (по Вакуленко и др., 2016)

Предполагается, что после заполнения этих искусственно созданных пустот произойдет промерзание содержащихся в них буровых отходов. Этот процесс в условиях арктического климата можно ускорить в 3-4 раза путем подачи в резервуар в зимний период холодного воздуха с помощью специального «сезонного охлаждающего устройства» (Савич, 2013). После заполнения подземного резервуара буровыми отходами производится его «ликвидация», которая заключается в цементировании и засыпке грунтом входного отверстия. Очевидно, что подобная операция

приводит не к ликвидации хранилища отходов, а к его изоляции формирует запечатанное или подповерхностное техногенное тело.

Окружающие резервуары многолетнемерзлые породы считаются непроницаемыми, что, по мнению разработчиков этих проектов, гарантирует их экологическую безопасность. Вместе с тем, многолетняя мерзлота в современных условиях уже перестала рассматриваться как «вечная». В связи с этим экологическая целесообразность создания подобных хранилищ (в отличие от экономической) в долговременной перспективе вызывает сомнения. Через определенный период времени юридическое лицо, создавшее эти хранилища, прекратит свое существование и эти техногенные тела перейдут в категорию исторических. Ликвидация накопленных в них огромных количеств загрязнителей может стать серьезной проблемой для будущих поколений. Это связано не только с распространением вредных веществ через подземные воды при деградации многолетней мерзлоты, но и развитием опасных геодинамических процессов (образование проседаний и провалов на поверхности, разжижение и разуплотнение породных массивов и т.п.).

Особым видом жидких техногенных тел являются аналогичные резервуары в многолетнемерзлых породах, предназначенные не для захоронения (тафономирования) нефтяных отходов, а для временного хранения (магазинирования) добываемых углеводородов и топлива. Такие подземные жидкие техногенные тела уже существуют. Например, в Якутии и в районе г. Норильска на Мастахском газоконденсатном месторождении (ГКМ) уже более 30 лет эксплуатируется хранилище этого типа объемом 9 тыс. м³ (Казарян и др., 2011). Востребованность создания большого числа новых подобных объектов обусловлена трудностями морской транспортировки нефтепродуктов в Арктике в зимний период. Затраты на строительство подземных резервуаров в условиях Ямала в 4-5 раз меньше, чем при создании наземных хранилищ

углеводородов того же объема. По этим причинам с выходом на промышленную эксплуатацию всех перспективных месторождений Ямала (Бованенковского, Харасавейского, Новопортовского, Ростовцевского и группы Тамбейских) для хранения жидких углеводородов в межнавигационный период (2 мес.) предлагается создание подобных резервуарных парков с общим объемом 2-3 млн м³ (Казарян и др., 2012). Следует отметить, что подземные хранилища углеводородов планируется создавать не только в толще многолетнемерзлых пород, но и погребенного льда, который является разновидностью естественных горных пород. Единичный объем таких поземно-ледовых хранилищ планируется увеличить до 10-20 тыс. м³.

ГЛАВА IV. СТВОЛОВЫЕ И ГЛУБИННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА

4.1. ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ И ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ

Стволовые техногенные геологические тела образуются при размещении в толще земной коры каких-то сооружений, имеющих большую вертикальную протяженность при относительно небольшом поперечном сечении (диаметре). Главным образом это различные скважины и шахты. При этом вертикальную протяженность не следует понимать как строго вертикальную ориентацию относительно земной поверхности. Отдельные участки подобных сооружений, пронизывающих литосферу, могут размещаться под различными углами, в т.ч. идти в горизонтальном направлении (рис. 4.1). Так, одна из разведочных скважин, пробуренная еще в 1968 г. в Восточной Сибири, имела горизонтальный участок длиной 632 м при фактической глубине (общей протяженности) 2800 м (Гельфгат, 2014).

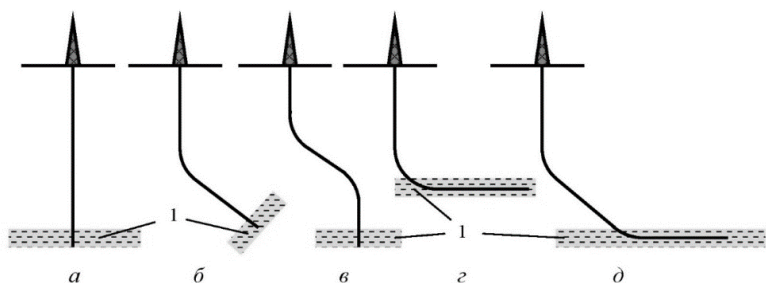


Рисунок 4.1. Типовые профили нефтегазовых скважин: а – вертикальный; б – вертикально-наклонный; в – вертикально-наклонный S-образный; г – вертикально-горизонтальный; д – вертикально-наклонно-горизонтальный; 1 – нефтегазовый пласт (по Нескоромных, 2016)

В настоящее время на нефтяном месторождении Вич Фармс (Южная Англия) длина горизонтального участка скважины составляет 10 км (Нескоромных, 2016).

Размещенная в глубине недр терминальная область шахт и скважин может иметь различную структуру. Но практически все эти сооружения предназначены либо для извлечения каких-то компонентов из подземных пластов, либо для транспортирования в них различных веществ. В результате в области нижней части скважин и шахт происходит физико-химическая и/или механическая трансформация значительного массива горных пород. Несмотря на весьма широкий спектр происходящих процессов, их результатом, в подавляющем большинстве случаев, становится образование *глубинного техногенного геологического тела*, отличающегося по своему составу и свойствам от окружающего его массива горных пород.

Таким образом, формирование стволовых и глубинных техногенных геологических тел, как правило, можно рассматривать как сопряженные процессы, обусловленные определенным видом

человеческой деятельности. Эти тела представляют собой принципиально различные образования, но в совокупности являются техногенной формацией, состоящей из функционально взаимосвязанных участков геологической среды.

В процессе деятельности, связанной с использованием глубоких горизонтов недр Земли, также могут возникать и техногенные тела других видов. Например, при бурении нефтяных скважин и проходке шахт образуются нефтешламовые амбары, горные отвалы и терриконы, но они представляют собой отходы этой деятельности, а не являются результатом ее непосредственного воздействия на подземные слои литосферы. По этой причине связанные с ними проблемы рассматриваются в другой части монографии (главе III).

Образование стволовых и глубинных техногенных геологических тел происходит при осуществлении различных видов деятельности, из которых в настоящей главе рассматриваются:

- бурение нефтяных и газовых скважин;
- освоение месторождений сланцевых углеводородов;
- использование технологий термической переработки угольных пластов с целью получения горючего газа;
- прокладка шахт для добычи полезных ископаемых;
- создание систем для освоения геотермальных энергетических ресурсов;
- проведение подземных ядерных взрывов;
- создание глубинных хранилищ углеводородного топлива в толще горных пород.

4.2. ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА И ФОРМАЦИИ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ БУРЕНИЯ, ЭКСПЛУАТАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ (КОНСЕРВАЦИИ) НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

Согласно определению, данному в пункте 3.2.15 ГОСТ Р 58033-2017 *скважина* – это пробуренная выработка круглого сечения, как

правило вертикальная, устраиваемая для исследования грунтовых условий, добычи или откачки воды, иных жидкостей или газов, измерений уровней подземных вод⁴⁷.

В большинстве случаев конструкция скважин включает следующие основные элементы (рис. 4.2):

- устье скважины – выход скважины на поверхность;
- забой скважины – ее противоположный (терминальный) конец, предназначенный для отбора откачиваемых к поверхности жидкостей и газов или перемещения их из ствола скважины в окружающие его горные породы;
- стенки скважины, образующие трубопровод, по которой движется выкачиваемое из недр вещество (пластовый флюид) или закачиваются в них различные реагенты и материалы;
- обсадные колонны – цилиндрические конструкции, защищающие стенки трубопровода.

Диаметр скважин обычно ступенчато уменьшается от устья к забою, т.е. на определенных участках скважины для перемещения в ней жидкостей или газов используются трубы различного сечения. Вблизи устья диаметр нефтяных и газовых скважин обычно не превышает 900 мм, а в терминальной части редко бывает меньше 165 мм (Дмитриев, 2008). Обсадные колонны, как правило, охватывают только самый верхний участок скважины. Если поверхностные слои на участке устья сложены из прочных горных пород, то обсадные колонны могут отсутствовать. Глубина нефтяных и газовых скважин достигает нескольких тысяч метров.

В нефтегазовой отрасли для различных целей используются более десятка видов скважин. Но ***значимую роль в формировании техногенных геологических тел имеют:***

⁴⁷ГОСТ Р 58033-2017 Здания и сооружения. Словарь. Часть 1. Общие термины. (ISO 6707-1:2014, NEQ))

1. Эксплуатационные или добычные скважины, предназначенные для добычи углеводородного сырья.

2. Нагнетательные скважины, использующиеся для закачки в продуктивные горизонты воды (реже воздуха, газа) с целью поддержания пластового давления и увеличения эффективности работы эксплуатационных скважин.

3. Поглощающие скважины, по которым в отработанные пласты закачиваются жидкие отходы. Такие скважины обычно рассматривают как разновидность специальных скважин, которые используются для различных вспомогательных операций: контроля пластового давления, газификации нефти и др.

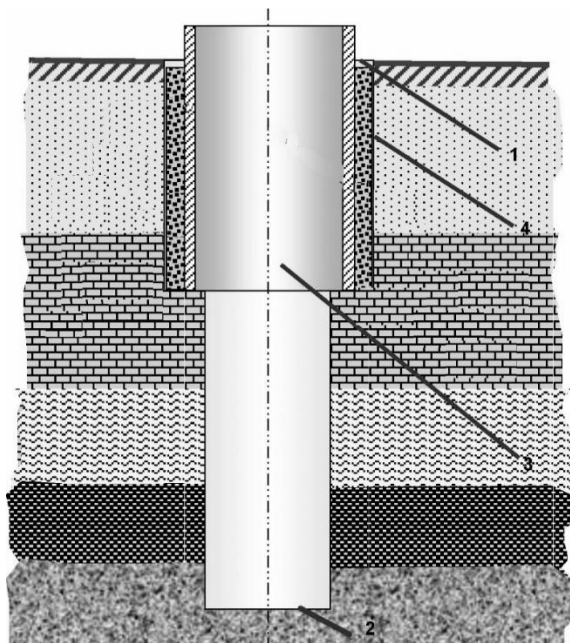


Рисунок 4.2. Типовая схема конструкции скважины: 1- устье скважины; 2 – забой скважины; 3 – стенка скважины; 4 – обсадная колонна (по Дмитриев, 2008)

В нефтегазовой отрасли для различных целей используются более десятка видов скважин. Но **значимую роль в формировании техногенных геологических тел имеют:**

1. Эксплуатационные или добычные скважины, предназначенные для добычи углеводородного сырья.

2. Нагнетательные скважины, использующиеся для закачки в продуктивные горизонты воды (реже воздуха, газа) с целью поддержания пластового давления и увеличения эффективности работы эксплуатационных скважин.

3. Поглощающие скважины, по которым в отработанные пласты закачиваются жидкие отходы. Такие скважины обычно рассматривают как разновидность специальных скважин, которые используются для различных вспомогательных операций: контроля пластового давления, газификации нефти и др.

Жизненный цикл скважин включает много этапов, из которых мы рассмотрим только основные:

1. Строительство скважины, т.е. сооружение горной выработки большой длины и малого диаметра. На данном этапе, в свою очередь, выделяют два технологических процесса (Басарыгин и др., 2000; 2001):

- бурение скважины – разрушение горных пород с целью создания в земной коре трассы для прокладки трубопровода;

- заканчивание скважины – это комплекс работ, осуществляемый на законченной бурением скважине, который может включать вскрытие продуктивных пластов, закрепление и перемещение зоны забоя, стимуляцию притока флюидов.

2. Эксплуатация (освоение) скважины – период, в течение которого по ее стволу осуществляется перемещение природных флюидов и газа из глубинных пластов к поверхности или закачивание жидких материалов и газообразных веществ (в т.ч. водяного пара) в земные недра земли.

3. Ликвидация (консервация) скважины – это остановка эксплуатации скважины (окончательная или на неопределенно длительный срок), сопровождающаяся мероприятиями по предотвращению (минимизации) негативного воздействия на окружающую среду и неконтролируемой техногенной трансформации недр (Мокроусов и др., 2010). В большинстве случаев эти работы включают цементирование устья, а в некоторых случаях создание цементных пробок (мостов) внутри ствола, а также заполнение его нейтральной незамерзающей жидкостью.

Формирование *стволовых техногенных геологических тел* происходит, главным образом, в процессе бурения и заканчивания скважин. Вокруг их стволов образуются реструктурированные тела. Помимо механической трансформации окружающие естественные массивы горных пород могут подвергаться физико-химической трансформации вследствие нарушения герметичности стенок скважины. Подобные явления могут происходить как на этапе эксплуатации скважины, так и после ее ликвидации (консервации). Причиной может стать коррозия материалов стенок. Если давление внутри скважины более высокое, чем в окружающем ее пространстве, то в геологическую среду из нее начинают поступать жидкие и газообразные продукты. Но в том случае, когда внешнее давление вокруг утратившей герметичность скважины превышает давление внутри нее, происходит противоположный процесс. Полость скважины наполняется флюидами, которые затем движутся по ее стволу и могут изливаться в геологическую среду на других участках разрушения стенок скважины. Таким образом, могут возникнуть *межпластовые перетоки*, способные изменить физико-химические свойства значительного участка земной коры. Нарушение герметичности стенок происходит не только вследствие коррозии их материалов в постэксплуатационный период. Один из распространенных видов, так называемых, осложнений при эксплуатации скважин – это разрушение их стенок в результате

обвалов окружающих их горных пород и ряда иных причин (Булатов и др., 2003). Подобные явления могут происходить и после ликвидации (консервации) скважин в оставшихся стволах.

Таким образом, *изменение горных пород по трассе скважин* происходит вследствие следующих причин:

1. Механическое разрушение горных пород при работе буров, которое может сопровождаться образованием в них трещин, каверн, снижением прочностных свойств под воздействием ударов и вибрации.

2. Проникновение в геологическую среду бурового раствора или промывочной жидкости, использующихся для удаления образующегося шлама, охлаждения породоразрушающего инструмента и некоторых других целей⁴⁸. Поступление бурового раствора в массивы горных пород может приводить к существенному изменению их свойств.

3. Укрепление ствола скважины путем закачивания в окружающее ее пространство цементирующих (тампонажных) жидких смесей, впоследствии затвердевающих. Нередко они производятся с использованием отходов бурения (бурового шлама, сточных вод и др.) (Басарьгин и др., 2000).

4. Возникновение межпластовых перетоков естественных флюидов (жидких компонентов земной коры) при нарушении в процессе бурения непроницаемых для них пластов, а также разрушения стенок скважин.

5. Разгерметизации ствола скважины и растекание в геологической среде транспортируемых по ней флюидов.

Возникающие в результате этих явлений изменения состава и структуры горных пород, как правило, происходят, только на небольшом удалении от ствола скважины, но могут в том или ином

⁴⁸Специалисты в области бурения скважин обозначают этот процесс как поглощение бурового раствора.

виде наблюдаться по всей ее длине. Таким образом, стволовые техногенные тела по своей форме повторяют трассу скважины.

Глубинные техногенные тела, образующиеся в результате эксплуатации скважин, формируются в области размещения их терминального конца (забоя). В большинстве случаев они располагаются пределах одного или нескольких пластов, которые имеют четко выраженную границу с окружающими естественными массивами горных пород. Как правило, они слагаются из пористых горных пород, в которых пространство между твердыми частицами заполнено каким-то флюидом, способным к перемещению. Подобные пласты, содержащие углеводороды обозначаются как *коллекторы нефти и газа*. Поступление в скважину пластовых флюидов, аккумулированных в поровом пространстве породы-коллектора, происходит, главным образом, за счет поддержания давления внутри ее забоя более низкого, чем давление в пласте породы-коллектора. Скорость перемещения флюидов или газа в забой скважины по мере удаления от него ослабевает. В результате вокруг терминальной части скважины формируется *зона дренирования* или воронка дренирования, имеющая определенные границы. За их пределами жидкие газообразные углеводороды не перемещаются к забою. С точки зрения специалиста в области нефтегазодобычи зона дренирования – это природный резервуар, содержащий доступные для извлечения данной скважины флюиды (газ). Но в контексте рассматриваемой в монографии проблемы техногенеза недр – это глубинное реструктурированное техногенное тело.

Существует достаточно много способов повысить объем добычи углеводородов (дебит нефтяной или газовой скважины) путем расширения зоны дренирования или повышения скорости оттока из нее извлекаемых продуктов. Их использование, как правило, вызывает увеличение масштабов глубинных техногенных тел и/или степени их трансформации.

Среди современных технологий, повышающих эффективность добычи углеводородного сырья, следует отметить особую роль скважин с горизонтальным (рис. 4.3а) и горизонтальным волнообразным стволом (рис. 4.3б), проходящим через значительную часть продуктивного (нефтегазоносного) пласта. Этот метод добычи получил название бурение скважин с большим отходом (ERD). Их протяженность по горизонтали в ряде случаев более чем в 2 раза превышает глубину по вертикали (Гельфгат, 2014).

С этой же целью осуществляется бурение многозабойных разветвленных скважин (рис. 4.4)⁴⁹. Применение всех перечисленных технологий значительно усиливает трансформацию земной коры и увеличивает масштабы образующихся глубинных техногенных тел.

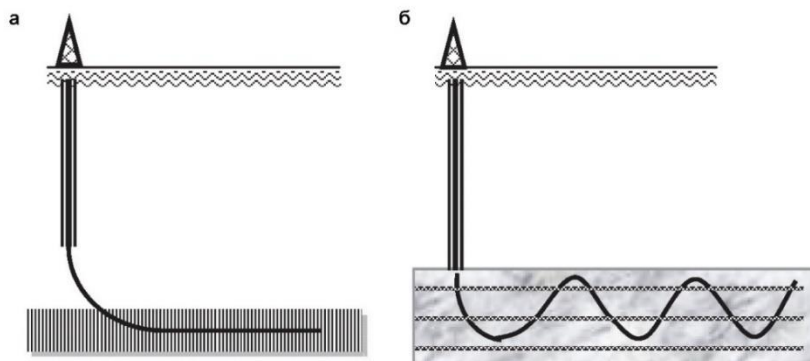


Рисунок 4.3. Схемы вскрытия продуктивных пластов горизонтальным (а) и горизонтальным волнообразным (б) стволом (по Нескоромных, 2016)

⁴⁹Количество отходящих от основного ствола ответвлений может быть более 100.

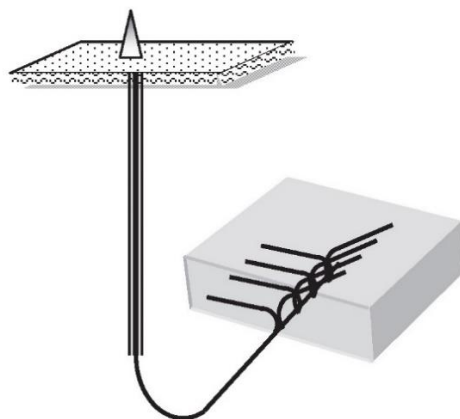


Рисунок 4.4. Схема многозабойной разветвленной скважины (по Нескоромных, 2016)

Аналогичный эффект отмечается при попытках увеличения уровня добычи природных флюидов путем искусственного повышения пористости нефтегазонасного пласта в результате формирования в его толще гидравлических разрывов или **гидроразрывов** (ГРП). Данный метод, называемый **фрекинг** (fracking), заключается в закачке в подземный пласт под высоким давлением воды или иного техногенного флюида (Башкатов, 2003). Это вызывает образование трещин (механическую трансформацию горных пород), что повышает подвижность в продуктивных пластах нефти и газа (рис 4.5). В соответствии с этим, образующиеся в результате реструктурированные техногенные тела можно обозначить как **фрекинговые**.

Дебит скважины может быть увеличен при повышении пластового давления в результате принудительной закачки в данный пласт воды или отработанного бурового раствора. В результате степень изменения свойств залегающих в нем горных пород (уровень их техногенной трансформации) возрастает.

Нередко это сопровождается и расширением границ участка геологической среды, на котором наблюдаются значимые изменения.

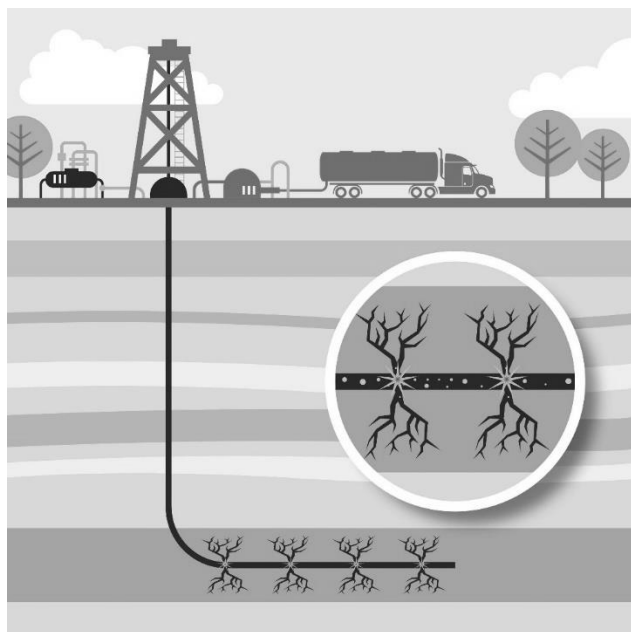


Рисунок 4.5. Формирование гидроразрывов (по <https://finestradoportunitat.com/7-raons-per-prohibir-fracking>)

Техногенез земной коры также вызывает внедрение различных методов физико-химической трансформации флюидов непосредственно в содержащих их пластах. С этой целью в недра земли закачиваются водяной пар или различные реактивы. Примером является *парогравитационный метод* (SAGD), предназначенный для внутрислоевого разжижения сверхвязких нефтей (битумов). Для этого осуществляется бурение двух горизонтальных скважин с расстоянием между ними по вертикали порядка 5 метров (рис. 4.6).

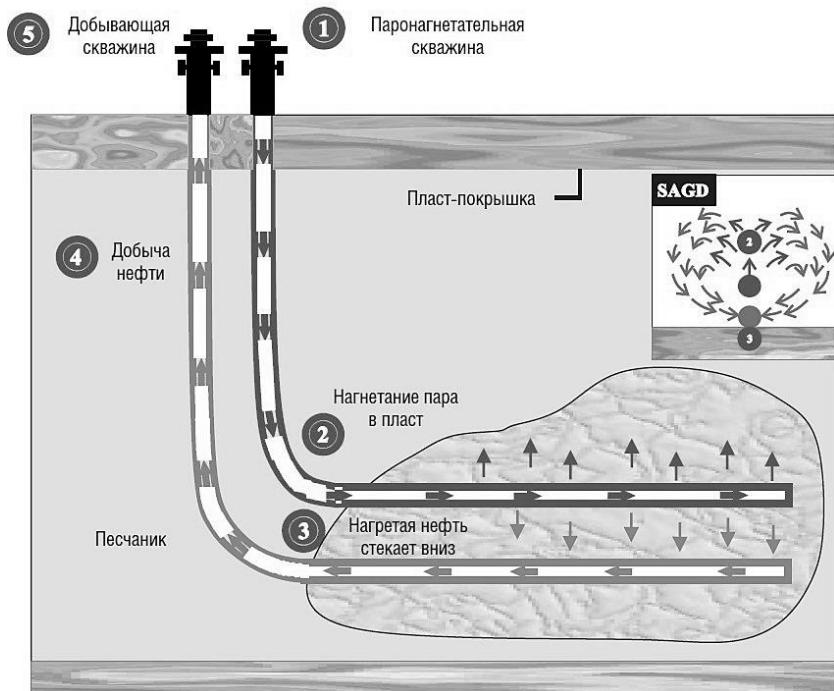


Рисунок 4.6. Схема парогравитационного метода добычи сверхвязких нефтей (по Нургалиев, Яруллин, 2016)

В верхнюю скважину закачивается пар, который поднимается вверх, образуя паровую камеру. Подвергшаяся термической обработке сверхвязкая нефть вместе с конденсатом стекает в нижнюю скважину и поднимается по ней на поверхность.

Особенностью современного этапа развития нефтегазовой отрасли является широкое распространение кустового бурения. При данной технологии, устья скважин (их выходы на поверхность) сооружаются на одной общей площадке, а забои (т.е. их терминальные глубинные части) расположены в пластах, нередко удаленных друг от друга на значительное расстояния. Это позволяет не только сократить число и суммарную площадь, участков

природной среды, отводимых под буровые площадки, но и значительно снизить общую протяженность наземных газо- и нефтепроводов, а также обслуживающих коммуникаций (дорог, линий электропередач и др.). По этим причинам кустовое бурение скважин рассматривается как технология, снижающая ущерб, наносимый наземной окружающей среде (Юрова, 2016).

Вместе с тем, техногенное воздействие на литосферу при кустовом бурении усиливается. Возрастает не только общая протяженность стволовых тел, могут увеличиваться и масштабы глубинных тел. Так, при бурении куста, состоящего из 5 скважин, общая площадь зоны дренирования увеличивается не в 5, а в 16 раз за счет возникновения дополнительно вовлеченных зон дренирования (рис. 4.7). Образующееся в результате глубинное техногенное тело можно отнести к категории комплексных. Вместе с многочисленными стволовыми телами оно образует крупномасштабную техногенную геологическую формацию. Таким образом, кустовое бурение снижает площадь техногенной трансформации окружающей среды на поверхности Земли, но повышает объем зоны техногенеза ее недр. По этой причине технология кустового бурения, несомненно, приносит ощутимую экономическую выгоду, но вывод о снижении негативных геоэкологических последствий ее применения представляется преждевременным.

Отдельный вид глубинных техногенных тел представляют собой пласты, подвергшиеся физико-химической трансформации в результате закачки в них различных материалов и отходов. Для выполнения данной задачи осуществляется бурение специальных поглотительных скважин. В настоящее время все более широкое распространение получают проекты утилизации этим способом буровых отходов. Данный метод, обозначаемый как *технология «реинджекшен»*, уже ранее рассматривался в разделе 3.4.

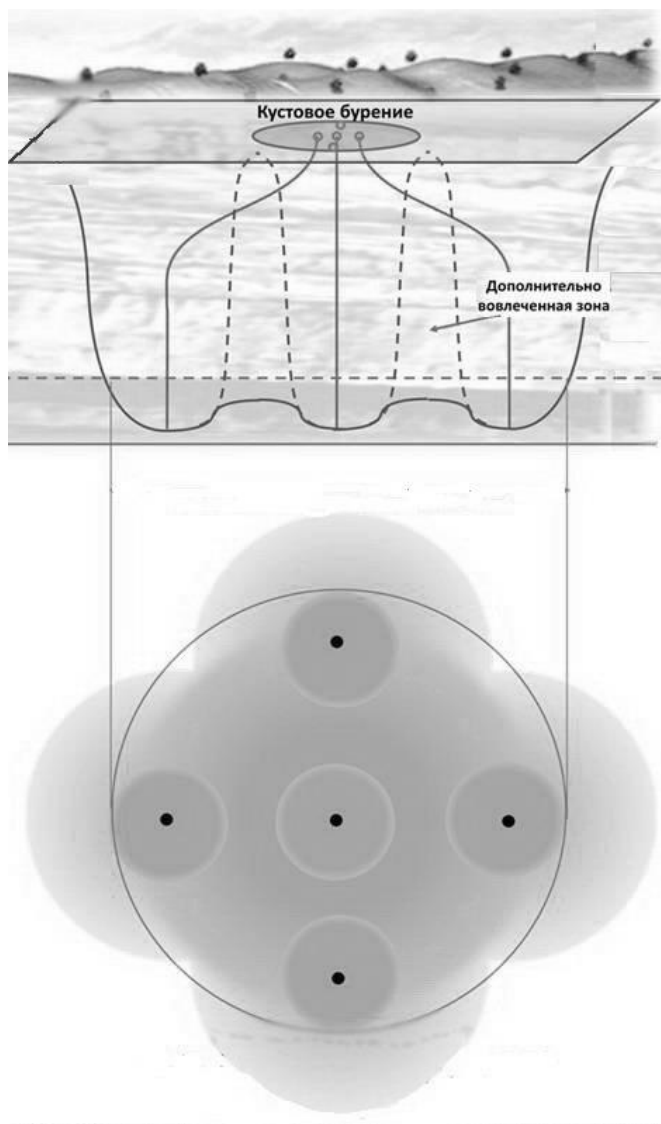


Рисунок 4.7. Образование общей зоны дренирования при бурении куста скважин (по <https://kuznetsk-dobycha.gazprom.ru/press/news/2016/02/79/>)

Для размещения этих веществ выбираются пласты, сформированные из рыхлых пород. Так, на морской нефтяной платформе «Приразломная» (Печорское море) в качестве перспективных поглощающих пластов (пластов-коллекторов) рассматриваются песчаные отложения среднего триаса, расположенные на глубине 1700-1900 м (Ефремкин, Rogozin, 2013).

Следует отметить, что захоронению подлежат не только жидкие отходы (отработанный буровой раствор и буровые сточные воды), но и твердые отходы, такие как затвердевший цемент. Закачка последних может осуществляться после их измельчения и изготовления пульпы в т.ч. на основе морской воды.

Учитывая значительные объемы отходов, образующиеся при бурении и эксплуатации скважин, можно сделать обоснованное заключение, что реализация этих планов приведет к необратимому изменению обширных участков земной коры, геологические последствия которого в настоящее время оценить затруднительно.

Еще более сомнительна целесообразность размещения в поглощающих глубинных пластах отходов химических, нефтехимических и иных промышленных предприятий. Сторонники подобных проектов полагают, что в этом случае происходит окончательное захоронение (тафономирование) отходов, гарантирующее их изоляцию от окружающей среды. Вместе с тем, пустоты между частицами рыхлых пород в поглощающих пластах в большинстве случаев заполнены водой. В связи с этим высказывается мнение, что содержащиеся в отходах вещества в растворенной форме могут мигрировать на значительные расстояния и, в конечном счете, достигать земной поверхности (Ходьков, Валуковис, 1968; Абдрахманов, 2019). Кроме того, данные соединения могут обладать высокой химической активностью и вызывать интенсивное разрушение горных пород, последствия которых могут проявиться в форме образования глубоких провалов и техногенных землетрясений.

Потенциальную экологическую опасность, несомненно, представляет и закачка в пласты-коллекторы радиоактивных отходов, осуществляемая на ряде крупных предприятий атомной промышленности. Так, уже свыше 40 лет на Сибирском химическом комбинате (СКХ) в г. Северск Томской области, Горно-химическом комбинате в г. Железногорск Красноярского края и Научно-исследовательском институте атомных реакторов (НИИАР) в г. Димитровград Ульяновской области в подземных пластах в совокупности было размещено более 50 млн. м³ радиоактивных отходов (Поляков, 2005). Они относятся к категории низкоактивных, но многие присутствующие в них радионуклиды являются долгоживущими. Следовательно, гипотетически они способны вызвать радиоактивное загрязнение среды по прошествии весьма длительного времени, если в результате каких-то процессов произойдет их подъем к поверхности. Сделать же обоснованный прогноз процессов трансформации земной коры (в т.ч. техногенного характера) на весь этот период невозможно. Таким образом, вопрос экологической безопасности подобных хранилищ радиоактивных материалов представляется спорным.

Кратко резюмируя изложенные материалы, можно сделать заключение, что глубинные техногенные тела при бурении (заканчивании) и эксплуатации скважин возникают в результате следующих процессов:

1. Изъятия из геологических пластов жидких или газообразных компонентов.
2. Механической и физико-химической трансформации горных пород.
3. Заполнения пористых горных пород жидкими аллохтонными материалами или отходами в форме пульпы.

4.3. ГЛУБИННЫЕ ФРЕКИНГОВЫЕ ТЕЛА, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ СЛАНЦЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Сланцы – это обобщающий геологический термин, под которым понимается совокупность твердых пелитовых пород (в т.ч. пелитовый известняк, аргиллит, алевролит, мергель), обладающих способностью расщепляться на пластины (Морариу, Аверьянова, 2013). Месторождения сланцевого газа и сланцевой нефти образуются породами этого типа, подземная обработка которых позволяет извлекать из них газообразные или жидкие углеводороды. Некоторые авторы, исходя из возможности добычи нефти и газа нетрадиционными способами, относят к сланцевым месторождениям и пласты пород, не имеющие характерных признаков сланцев (слоистости). Например, А.С. Hutton (1987) выделяет среди нефтеносных сланцев следующие группы горных пород:

- 1) гумусовые угли и угленосные сланцы;
- 2) горные породы, пропитанные битумами;
- 3) собственно нефтеносные сланцы.

Сланцевый газ – это вид природного газа, заполняющий небольшие пустоты (трещины) в толще осадочных пород или адсорбированный на твердых и жидких органических субстратах (Гудзенко и др., 2013; Сидорова и др., 2016). В большинстве случаев он состоит из метана с примесью углекислого газа и сероводорода.

Мировые запасы сланцевого газа, разведанные к 2013 г., согласно данным Администрации энергетической информации (АЭИ) Министерства энергетики США (U.S. Energy Information Administration), составляли около 206,7 трлн м³.⁵⁰ Их основная часть обнаружена в Азиатско-Тихоокеанском регионе (более 25%), в

⁵⁰ Согласно другим источникам, например данным Международного энергетического агентства (World Energy Outlook, 2009), его мировые запасы достигают 456 трлн м³.

Северной Америке (23.4 %) и в Южной Америке (около 20%). Но на современном этапе значительное развитие добыча сланцевого газа получила лишь на территории США, где ее объем составляет около 250 млрд м³. В будущем масштабное освоение месторождений сланцевого газа планируется в Китае, Канаде, Великобритании, Австралии, Индии и ряде других стран (Конторович и др., 2014).

Добыча сланцевого газа осуществляется с использованием технологии фрекинга, т.е. образования в газоносном пласте гидроразрывов путем закачки в него под высоким давлением флюида на основе воды. В его состав входят различные химикаты, а также проппант⁵¹ (proppant, propping agent – расклинивающий агент) – гранулообразный материал, удерживающий образующиеся трещины и поры от смыкания, что необходимо для поступления газа в коллекторы скважин (рис. 4.8).

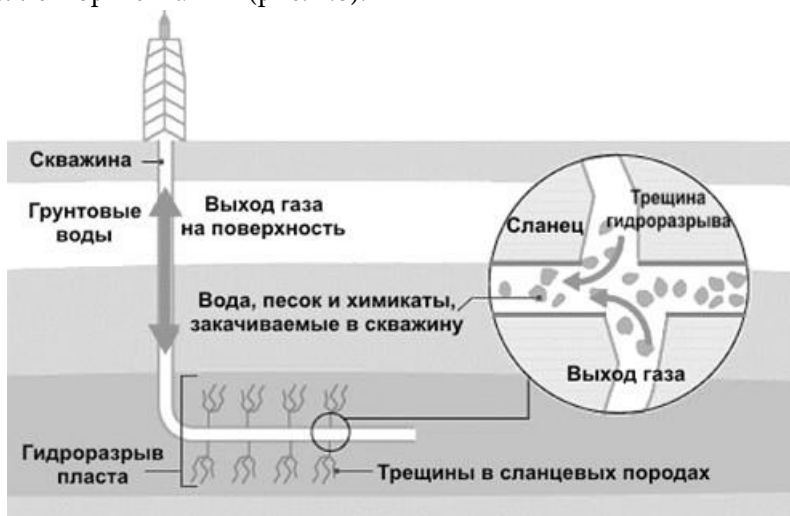


Рисунок 4.8. Схема добычи сланцевого газа (по <https://neftegaz.ru>)

⁵¹ В работах русскоязычных авторов этот материал нередко обозначается как пропант.

Наиболее часто в качестве пропанта используется песок, но могут применяться и искусственно создаваемые частицы, например, керамические (Ярмонов, 2018; Можжерин, Коржавин, 2018).

Эксплуатация только одной скважины для добычи сланцевого газа требует закачивания в земные недра от 2 до 10 млн тонн воды (не считая массы химикатов и пропанта) (Гудзенко и др., 2013). Результатом является возникновение реструктурированного техногенного тела, отличающегося по своим свойствам от ранее существовавшего естественного массива горных пород. При этом следует учитывать, что объемы сланцевого газа, которые могут быть добыты с помощью такой скважины, быстро истощаются. Рентабельность освоения месторождений сланцевого газа достигается только при условии бурения очень большого числа скважин на значительной площади. Например, для добычи сланцевого газа из группы месторождений Marcellus Formation (США, штат Нью-Йорк), запасы которого по различным оценкам колеблются от 1,7 до 7,0 трлн м³, планируется пробурить порядка 50 тыс. скважин, которые будут размещены на площади 400 км². Суммарный объем участка недр, который в результате этого подвергнется техногенезу, будет измеряться сотнями, а возможно и тысячами кубических километров. Таким образом, возникнет обширная техногенная геологическая формация, которая по мере своего развития (достижения регионального уровня) уже может рассматриваться как техногенная геологическая провинция.

Современным технологиям добычи сланцевых газов обычно сопутствует сильное загрязнение подземных, грунтовых и поверхностных вод, как компонентами трансформируемых сланцевых пластов, так и реагентами, закачиваемых в них флюидов (Шаховская и др., 2015; Федорова, 2016; Пунанова, Нукунов, 2017). Многие из них, прежде всего тяжелые металлы, рассеиваясь в подземном и наземном пространствах, создают зоны обширных техногенных геохимических аномалий. Часть высвобождающихся

из сланцев элементов (например, Hg, As, Cu, Zn) токсична. Поэтому добыча сланцевого газа сопровождается ухудшением экологической ситуации на значительных территориях, делает их непригодными для проживания людей и ведения сельского хозяйства. Кроме того, возникающие при добыче сланцевых газов подземные пустоты, могут стать причиной проседания земной поверхности и даже создать угрозу возникновения техногенных землетрясений.

Сланцевая нефть – это жидкие углеводороды, полученные в результате физико-химического воздействия на горные породы, содержащие большое количество органических полимеров, в совокупности обозначаемых как **керогены**⁵². Их превращение в жидкие углеводороды осуществляется путем их частичного разложения под воздействием высокой температуры (пиролизом). После этого они экстрагируются из вмещающей породы. Таким образом, сланцевая нефть – это не природное сырье, а продукт переработки богатых углеводородами горных пород. По этой причине сланцевую нефть (shale oil) также называют синтетической нефтью (synthetic crude oil) (Грушевенко, Грушевенко, 2012).

Выделение из сланцев, содержащих керогены, «синтетической нефти» первоначально осуществлялась после их добычи из недр открытым или закрытым способом. Термическая обработка предварительно подвергшейся дроблению породы осуществлялась в специальных камерах (ретортах). Данный метод получил название **поверхностный ретортинг** или **поверхностная дистилляция**. В дальнейшем распространение получили методы **внутрипластового ретортинга** или **внутрипластовой дистилляции**, включающие термическую обработку сланцев непосредственно на участках их залегания, поземную экстракцию из них углеводородов и подъем на поверхность образующейся в результате сланцевой нефти. Необходимым условием извлечения из обрабатываемого в

⁵² Иногда также их называют протонейфтью (Сидорова и др., 2016).

подземном пространстве пласта образовавшейся в нем сланцевой нефти, как правило, является создание гидроразрывов (фрекинга).

Для подземной обработки керогеновых пластов разработано несколько различных технологий, среди которых наибольшую известность получили (Морариу, Аверьянова, 2013; Грушевенко, Грушевенко, 2013):

1. Технология Shell ICP. Она основана на постепенном длительном (2-4 года) повышении температуры сланцевых пластов (до 200°C и выше), путем размещения под землей электронагревателей.

2. Технология ExxonMobil Electofrac заключается в бурении, доходящих до сланцевого пласта скважин, его фрекинга, сопровождающегося закачкой в гидроразрывы электропроводящего флюида. Разогрев при подаче тока происходит разогрев данного участка недр и пиролиз содержащегося в нем керогена.

3. Технология AMSO EGL Technology, которая является примером так называемого непрямого ретортинга внутри пласта. Она подразумевает создание замкнутой системы нагревательных труб, проходящих через сланцевую залежь. В результате нагрева в этом случае также происходит пиролиз керогенов, которые через трещины гидроразрывов поступают в сеть добычных скважин.

Все перечисленные технологии, как и иные предлагаемые методы внутрипластового ретортинга (внутрипластовой дистилляции), неизбежно приводят к образованию в земных недрах крупномасштабных техногенных тел и их формаций. Геоэкологические и экологические последствия этого процесса принципиально не отличаются от таковых при добыче сланцевого газа.

Таким образом, освоение месторождений сланцевого газа и сланцевой нефти на современном этапе вызывают широкомасштабный и многоплановый техногенез литосферы. Он

заключается в механической и физико-химической трансформации горных пород. Результатом является возникновение техногенных тел, которые по механизму образования можно выделить в отдельную категорию – фрекинговые тела. Их распространенность и суммарный объем в литосфере, несмотря на отказ ряда стран от этого вида добычи топливно-энергетических ресурсов, в обозримом будущем будет продолжать стремительно увеличиваться. Во многом этому способствует относительно низкое (по сравнению с традиционными нефтяными месторождениями) количество газа или нефти, которое может быть в среднем получено от одной добычной скважины. Это компенсируется их большим количеством, что сопровождается техногенезом земной коры, постепенно охватывающим значительную часть района сланцевых залежей, содержащих углеводороды. О масштабах этого процесса можно судить по размерам площадей семи наиболее значимых месторождений сланцевой нефти, эксплуатируемых на территории США (рис. 4.9).

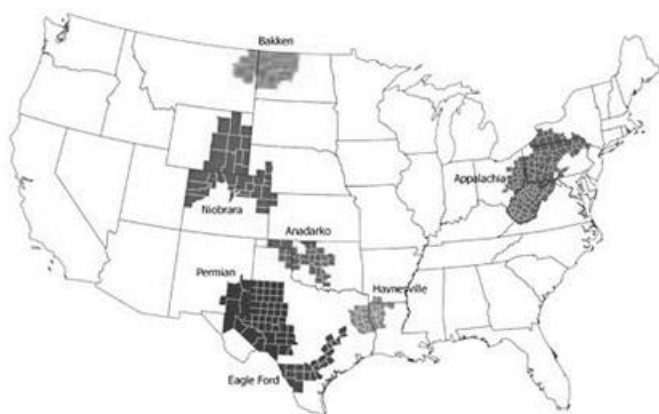


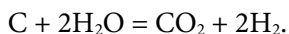
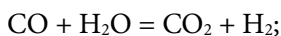
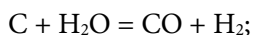
Рисунок 4.9. Наиболее значимые месторождения сланцевой нефти на территории США (Drilling ... 2021)

В перспективе все эти участки (и ряд других сланцевых месторождений, не нанесенных на эту карту) можно рассматривать как области, в недрах которых сформировались фрекинговые геологические тела и техногенные формации, окруженные зонами техногенной трансформации, вызванной распространением загрязненных вод и неконтролируемыми утечками углеводородов. Итогом этой деятельности может стать возникновение ряда техногенных геологических провинций, сопровождающихся значительным ухудшением экологической ситуации и охватывающих обширные регионы на поверхности Земли. Кроме того, эта деятельность может стать важнейшим фактором дальнейшего развития глобального кризиса водопотребления, т.е. растущей нехватки пресной воды, необходимой для удовлетворения нужд народонаселения планеты (Суздалева, Горюнова, 2018).

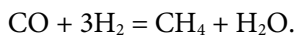
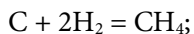
4.4. ГЛУБИННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ И ПОДЗЕМНОМ СЖИГАНИИ УГЛЯ, А ТАКЖЕ ПРИ ПОДЗЕМНОМ СЖИГАНИИ ОТХОДОВ

Технология подземной газификация угля (ПГУ) основана на сложном многоэтапном физико-химическом процессе переработки угольных пластов, результатом которого является образование в них горючих газов (Крейнин и др., 1982; Крейнин, 2004). Он представляет собой последовательную цепь окислительных и восстановительных реакций, протекающих в подземном газогенераторе, который создается непосредственно в угольном пласте в результате его розжига (создании управляемого очага горения), с подачей под землю воздуха (кислорода или кислородсодержащей газовой смеси). В упрощенном виде данный процесс можно представить следующим образом. Окислительные реакции, стимулируемые подачей с поверхности (дутьем через скважины) кислорода, воздуха или смеси реагентов, происходят с выделением большого количества тепла за счет частичного сгорания

угля и образования окислов углерода (CO и CO₂). В несгоревшей части угля образуется коксовый остаток с высоким содержанием углерода. Высокая температура вызывает выделение из угольных пластов и вмещающих пород водяного пара. В результате образования в замкнутом объеме большого количества газообразных продуктов возникает высокое давление. В этих условиях – на восстановительной стадии – происходит образование водорода:



В процессе других восстановительных реакций при взаимодействии углерода коксового остатка и окислов углерода с водородом и парами воды образуется метан:



Следует отметить, что технология получения горючего газа путем термохимической переработки угля начала применяться в период промышленной революции. Еще в конце XVIII в. для освещения Лондонских улиц использовался газ, полученный путем переработки каменного угля в наземных газогенераторах (Гайко и др., 2012). Вероятно, впервые идея о возможности получения газа непосредственно из угольных пластов была высказана в 1868 г. знаменитым немецким и британским инженером-изобретателем Карлом Вильгельмом Сименсом (1868). В 1888 г. независимо от него эту же идею выдвинул Д.И. Менделеев (1888). Кроме того, он оценил перспективы развития данной технологии на практике. Но первый в мире опыт практического внедрения технологии ПГУ был осуществлен только 1933 г. в СССР. Почти одновременно подземные газогенераторы были созданы в Донбассе на Лисичанской станции «Подземгаз» – на каменном угле, в г. Шахты – на антрацитовых углях, а также в Московском бурогольном бассейне и на

Крутовском бурогольном месторождении. Применявшаяся на этом этапе технология копировала способ получения газа в наземных газогенераторах. В изолированных подземных выработках насыпался слой предварительного раздробленного угля. В один конец такой камеры подавался воздух и инициировался термохимический процесс. Полученный газ отводился из ее противоположного конца (Скафа, 1960). Этот способ ПГУ не давал желаемого результата, поскольку газ, образовавшийся между частицами слоя дробленого угля, еще до выхода на поверхность окислялся (дожигался) кислородом, оставшимся над его поверхностью. В результате из камеры выходил не горючий газ, а продукты его горения. Успеха удалось добиться только после усовершенствования технологии, получившей название «метода потока» (рис. 4.10).

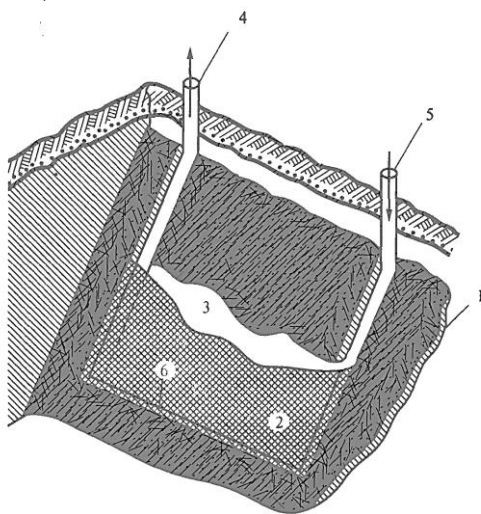


Рисунок 4.10. Схема создания ПГУ методом «потока»: 1 – угольный пласт; 2 – шлак и обрушившаяся порода кровли; 3 – огневой забой; 4 – газоотводящая скважина; 5 – дутьевая скважина; 6 – начальный огневой штрек (по Крейнин, 2004)

Этот метод предполагал осуществление процесса газификации в канале, проходящим через пласт угля. Выгоревшее пространство заполнялось материалом обрушения пород кровли и золой, остающейся после сжигания угля. В результате сечение огневого штрека должно было оставаться практически неизменным, а поверхность огневого забоя – быть доступной для контакта с потоком дутья.

Дальнейшее развитие данной технологии позволило осуществлять весь процесс ПГУ без применения подземных работ с участием людей (она получила название скважинная технология ПГУ). В настоящее время распространен способ газификации, при котором дутьевые и отводящие скважины чередуются, а соединяющий их канал охватывает большой участок угольного пласта. В соответствии с этим создание объекта ПГУ включает:

- бурение нескольких скважин с поверхности земли на угольный пласт, через которые производится дутье, т.е. нагнетание окислителей;
- бурение нескольких скважин для отвода образующихся газов, в т.ч. метана;
- соединение этих скважин каналами, проходящими чрез угольный пласт и формирование в нем так называемого огневого забоя.

По мере выгазовывания угольного пласта нижний конец скважины, через которую осуществляется дутье, перемещается (как правило, снизу-вверх). Схема подобного подземного парогенератора представлена на рис. 4.11.

Существует и другие модификации данной технологии ПГУ. Например, в КНР используется так называемый комбинированный способ создания подземных газогенераторов. Трубопроводы для дутья опускаются в специально подготовленные шахты, обеспечивающие значительно большую поверхность контакта окисляющего агента с залежами угля (рис. 4.12).

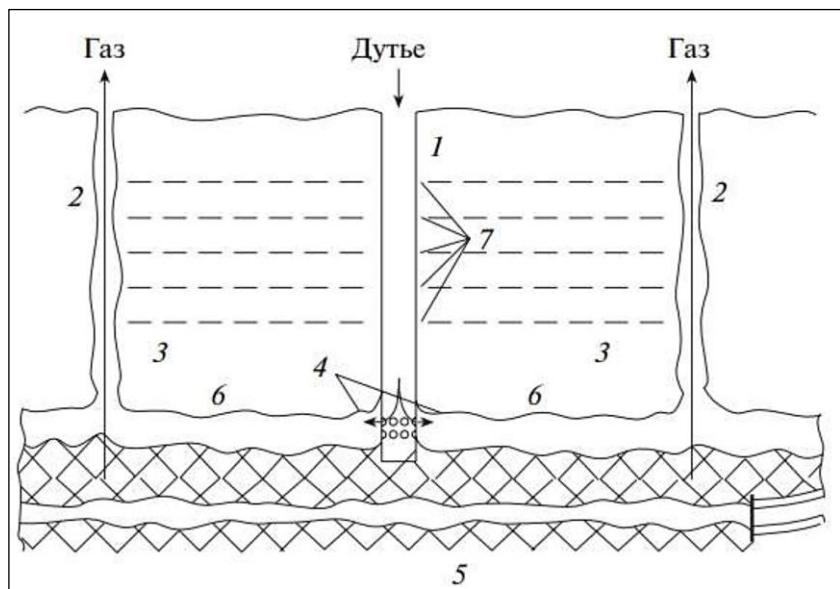


Рисунок 4.11. Фрагмент подземного газогенератора ПГУ: 1 – дутьевая скважина; 2 – газоотводящая скважина; 3 – угольный пласт; 4 – реакционная угольная поверхность; 5 – поперечный горизонтальный буровой канал; 6 – контур выгазовывания; 7 – зона перемещения реакционного канала (по Ефимовых, Богатова, 2017)

Однако вплоть до начала XXI века технология ПГУ имела весьма ограниченное распространение. Но в настоящее время она стремительно развивается во многих странах (Лазаренко, Кравцов, 2007; Крейнин и др., 2011; Гайко и др., 2012). Главным образом, это обусловлено постоянно растущей потребностью в топливно-энергетических ресурсах. Основная часть мировых запасов угля (около 70%) сосредоточена в тонких пластах, разработка которых традиционными способами нерентабельна (Гайко и др., 2007). Вместе с тем, технология ПГУ позволяет экономически эффективно осваивать эти ресурсы.

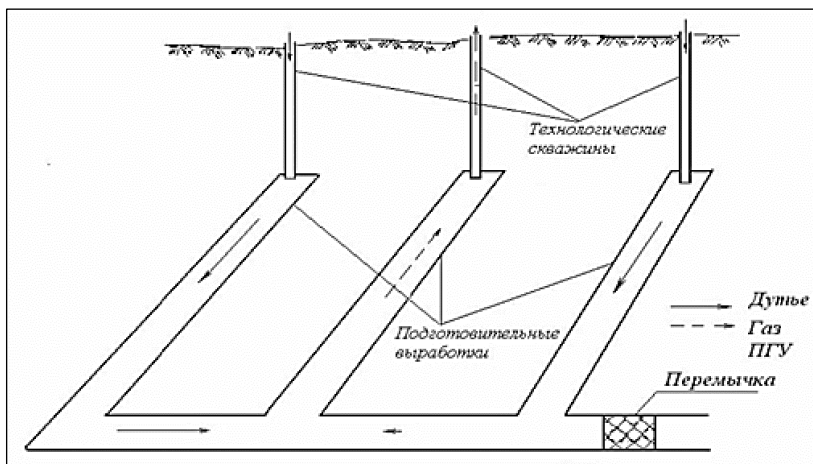


Рисунок 4.12. Схема комбинированного создания подземных газогенераторов (по Кондырев, Белов, 2005)

В соответствии высокими темпами развития данной технологии возрастают количество и масштабы образующихся в результате ее применения техногенных геологических тел, которые можно отнести к категориям стволовых (скважины) и глубинных реструктурированных (подземное пространство окружающие газифицируемые угольные пласты), в совокупности образующих техногенные геологические формации.

Следующим шагом в направлении подземного использования угольных пластов стала технология их подземного сжигания (ПСУ). Она подразумевает утилизацию (дожигание) полученных из угля газов в специальных камерах или каналах (Дядькин, Минаев, 1984; Ржевский, Селиванов, 1989; Ржевский, 1990; Закоршменный, Антонов, 2000; Янченко, 2000). Образующаяся энергия передается теплоносителю (например, водяному пару), который может служить не только для теплоснабжения наземных объектов, но и может использоваться для работы турбин, генерирующих электроэнергию

(Гайко и др., 2007). Возможно комбинированное использование технологий ПГУ и ПСУ (Закоршменный, Каркашадзе, 2006).

Выработанные угольные шахты неоднократно предлагалось использовать для сжигания в них различных отходов (Ярунин и др., 1998; Абрамкин 2000; Вареха, Тобагабулова, 2014). Нередко этот процесс совмещается с газификацией и дожиганием находящихся в них угольных остатков. В последнем случае реализация подобных проектов представляет собой модификацию технологий ПГУ и ПСУ.

Специалисты, разрабатывающие технологии ПГУ и ПСУ, нередко обращают внимание на их относительную экологическую безопасность (Крейнин, 2008; Гайко и др., 2012). Действительно, замена твердого топлива горючим газом позволяет избавиться от образования на земной поверхности золошлаковых отвалов и снизить количество загрязнителей, выбрасываемых в атмосферу.

Вместе с тем, некоторые исследователи обращают внимание на ***ряд опасных процессов, которые могут сопутствовать ПГУ и ПСУ***. Наибольшую значимость среди них имеют:

1. Угроза потери управления за распространением очага горения (неуправляемое расширение огневого забоя) (Гайко и др., 2012), что может стать причиной подземного пожара, охватывающего значительные участки шахты и сопровождающегося неконтролируемым выбросом продуктов горения в атмосферу. В этой связи следует отметить, что большинство проектов ПГУ и ПСУ осуществлялось на уже ранее сформировавшихся шахтных полях. Это создает угрозу распространения подземных пожаров по системе подземных выработок.

2. Нарушение герметичности подземного газогенератора и самопроизвольное образование каналов, по которым происходит распространение газообразных продуктов и конденсата (Закоршменный, Каркашадзе, 2006). В этих условиях возникает угроза неконтролируемого сжигания углей (а также отходов) и подъема продуктов газификации к земной поверхности (Ремезов,

Ермак, 2005). Вместе с тем, существует мнение, что воздействие высоких температур на вмещающие породы приводит к образованию в них непроницаемого слоя. Подземная полость, в которой осуществлялось сжигание отходов превращается в изолированный саркофаг для захоронения образующихся токсичных продуктов (Вареха, Тобагабулова, 2014). Подобное утверждение представляется спорным. Согласно, Ф.В. Котлову (1978) изменение окружающего газогенератор подземного пространства во многом зависит от свойств слагающих его горных пород. Если глинистые породы под воздействием высокой температуры «каменеют», то в других породах в тех же условиях развиваются трещины. Кроме того, даже если описанная выше изолированная полость и возникнет, то время, в течение которого будет сохраняться ее целостность в достаточно подвижной геологической среде шахтного поля, может быть непродолжительным.

3. Обрушение кровли подземных газогенераторов, сопровождающее неконтролируемыми деформациями земной коры над выгоревшим пространством (Ремезов, Ермак, 2005; Гайко и др., 2007). Это может привести к оседанию земной поверхности и образованию провалов. Так, в Подмосковном угольном бассейне просадки над участками газификации угольных пластов достигали 3 м, а в Кузбассе – 15 м (Котлов, 1978). Развитию этих процессов может способствовать нагрев вмещающих пород и оказываемое на них давление, вызывающее их реструктуризацию и снижение прочностных свойств (Янченко, Черный, 2001). Для предотвращения подобных явлений предлагается осуществлять закладку выгазованного пространства, но подобное мероприятие технически сложно и требует больших затрат, которые могут сделать технологии ПГУ и ПСУ нерентабельными.

4. Загрязнение подземных вод и распространение через них вредных веществ, образующихся при газификации и сжигании угля.

Следует вспомнить, что в углях могут содержаться радионуклиды и тяжелые металлы, концентрация которых в золе и шлаках может быть многократно выше, чем в подвергаемом термохимической обработке исходном сырье. Кроме того, в этом процессе они образуют подвижные соединения, легко растворимые в воде (соли, окислы, основания). Аналогичное заключение можно сделать и относительно продуктов подземного сжигания бытовых и тем более промышленных отходов, несмотря на то что в некоторых работах указывается, что вредные вещества в значимом количестве в них отсутствуют (Вареха, Тобагабулова, 2014). Некоторые авторы также утверждают, что загрязнение подземных вод в этих условиях маловероятно (Крейнин, Дворникова, 1993; Дворникова, 1994). По их мнению, вокруг действующих подземных газогенераторов возникает глубокая депрессия подземных вод, причиной которой является вынос влаги с отводимым горючим газом и откачка воды из выгазованного пространства. В этих условиях подземные воды должны двигаться только по направлению к газогенератору, что исключает распространения по ним загрязнителей. Даже в том случае, если подобные суждения верны, закономерно возникает вопрос: а как будет развиваться ситуация после прекращения функционирования газогенератора? Рано или поздно созданная в процессе его контролируемого использования депрессия подземных вод исчезнет. В этой ситуации может начаться приток вод в газогенератор из окружающего подземного пространства и последующее распространение с ними загрязнителей, выщелачиваемых из пластов, подвергавшихся термохимическому воздействию.

Анализируя имеющиеся материалы, можно утверждать, что использование технологий ПГУ и ПСУ (включая сжигание отходов в выработанных угольных шахтах) неизбежно приводит к формированию специфических техногенных тел и структур, которые в большинстве случаев можно отнести к категории

реструктурированных. Возможна их агрегация, приводящая к возникновению техногенных формаций. Оценка возможных негативных последствий создания подземных газогенераторов должна основываться на исследовании этих образований и процессов их последующей трансформации. При невозможности в длительной перспективе обеспечить надежную герметизацию заполненных шлаками и золой выгазованных подземных полостей следует ожидать возникновения в окружающих массивах горных пород зон техногенного влияния в результате миграции тяжелых металлов и радионуклидов с подземными водами или соответствующих изменений характера подобных зон, если они уже ранее сформировалась при освоении шахтного поля. В этой связи следует отметить, что наличие в земной коре выведенных из эксплуатации скважин, шахт и штреков может значительно повысить интенсивность процессов миграции загрязнителей с подземными водами.

4.5. ТЕХНОГЕНЕЗ ЛИТОСФЕРЫ, ОБУСЛОВЛЕННЫЙ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Запас тепловой энергии литосферы, потенциально доступной для использования человеком составляет $840 \cdot 10^9$ Вт (Никитина, Мезенцева, 2017). В перспективе данный источник может обеспечить значительную часть энергетических потребностей человечества, и это не приведет к ощутимому изменению температуры глубоких слоев Земли.

Подземное тепло используется как для обогрева различных объектов (жилых и производственных зданий, теплиц и др.), так и для выработки электроэнергии. В первом случае термальные воды могут непосредственно доставляться из скважин по трубам (Белоокая, Пивоварова, 2015). Например, таким образом

осуществляется отопление значительной части зданий и сооружений в Исландии (Gudmundsson, 1983).

Получение электроэнергии из подземного тепла осуществляется благодаря работе турбин геотермальных электростанций (ГеоТЭС⁵³), через которые под давлением пропускается водяной пар или иной теплоноситель (DiPippo, 2005).

Использование природных геотермальных ресурсов⁵⁴ может осуществляться несколькими различными путями в зависимости характера доступных источников подземного тепла, которые можно разделить на следующие основные категории:

1. Фонтанирующие геотермальные месторождения, представляющие собой участки самопроизвольно выхода на земную поверхность струй пара и горячих вод, возникающих за счет высокого давления в земных недрах.

2. Подземные гидротермы (гидротермальные месторождения), не выходящие на земную поверхность. Заключенные в них горячие подземные воды и водяные пары могут быть использованы только путем бурения скважин, как правило, имеющих значительный (до 500 м длиной) горизонтальный участок, пронизывающий

⁵³ Сокращение ГеоТЭС используется в действующих нормативных документах (ГОСТ Р 56909-2016 Нетрадиционные технологии. Геотермальная энергетика. Термины и определения, пункт 2.19; ГОСТ Р 55004-2012 Возобновляемая энергетика. Геотермальные электростанции. Сооружения. Требования безопасности. Основные положения, пункт 3.3 и др.). Вместе с тем во многих публикациях для обозначения геотермальной электростанции используется сокращение ГеоЭС.

⁵⁴ В середине XX века сначала в СССР, а затем и США, также разрабатывались проекты искусственного создания геотермальных месторождений путем осуществления мощных подземных камуфлетных ядерных взрывов (Берман, 1978; Богуславский, 2020). В результате в массиве горных пород должна была возникнуть зона повышенной проницаемости с высокой температурой – «подземный тепловой котел». Отказ от реализации подобных проектов был обусловлен опасностью радиоактивного загрязнения окружающей среды.

термоводоносный пласт (Алхасов, 2016). На нем размещаются коллекторы для отбора нагретого флюида из содержащей его горной породы. Подъем воды и пара осуществляется с помощью насосов. В скважине также может размещаться оборудование, подготавливающие флюид для использования в энергетических установках и системах теплоснабжения (регулирование температуры и давления флюида, снижение уровня его минерализации, изменение фазового состояния теплоносителя).

3. Имеющие высокую температуру сухие горные породы (петротермальные месторождения). Именно в них сосредоточена основная часть доступных запасов геотермальной энергии (около 99%). Природные термальные воды содержат немногим более 1% тепловой энергии недр. Вместе с тем в настоящее время подавляющее большинство объектов геотермальной энергии использует их, а не сухие горячие породы. Это связано со значительно более высокими затратами при освоении подобных месторождений геотермальной энергии (Алексеенко и др., 2016). Так, для извлечения тепловой энергии из твердых тел требуется подвод к ним жидкого теплоносителя (воды или технического флюида). Кроме того, чтобы этот процесс протекал достаточно интенсивно необходимо создать в породе большую площадь теплоотдачи, например, в форме пронизывающих ее трещин, при прохождении через которые происходил бы нагрев теплоносителя. Обычно это достигается созданием гидроразрывов. Таким образом, освоение петротермальных месторождений требует формирования в недрах крупных фрекинг-тел (рис. 4.13).

Фонтанирующие гидротермальные воды как источник тепла по причине легкой доступности использовались с древнейших времен (Богуславский, 2020). Так, в Древнем Риме на их основе устраивались городские бани (термы) (Белоусов, Белоусова, 2002). На них же в середине XX века осуществлялось и строительство первых ГеоТЭС.

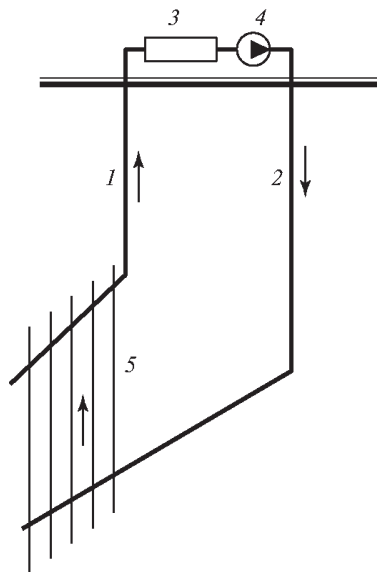


Рисунок 4.13. Схема освоения петротермального месторождения: 1 – добычная скважина; 2 – нагнетательная скважина; 3 – потребитель тепла; 4 – нагнетательный насос; 5 – трещины гидроразрыва (по Алхасов, 2016)

Но по ряду причин использование энергии подобных гидротермальных месторождений ограничено. Основная из них заключается в том, что мощные открытые источники геотермальных вод приурочены к зонам активных вулканических процессов (Исландия, Камчатка, Новая Зеландия и др.), которых относительно немного и, как правило, хозяйственное освоение их территорий сопряжено со значительными дополнительными рисками. Серьезные проблемы при эксплуатации фонтанирующих гидротерм также обуславливает непостоянство дебита таких источников и трудность его регулирования. Так, создание искусственных каналов (скважин) для контролируемого пропуска пара к турбинам может вызвать образование фумарол на соседних участках (Glover et al.,

2000), что представляет опасность для жизни людей и создает угрозу разрушения построек. Кроме того, большинство фонтанирующих естественных гидротерм являются памятниками природы, и строительство ГеоТЭС на одном из выходов горячих флюидов может привести к их необратимому изменению или даже исчезновению их и других источников (DiPirro, 1991; Белоусов, Белоусова, 2002). Например, в Новой Зеландии строительство ГеоТЭС на геотермальном поле Вайракей вызвало практически необратимое уничтожение более 100 гейзеров (Веселко, 2015).

Вместе с тем, как показывает зарубежный опыт, возведение инженерно-технических сооружений для эксплуатации фонтанирующих гидротерм далеко не всегда снижает рекреационный и видеоэкологический потенциал участков, на которых они расположены. Существуют примеры, когда их строительство, напротив, способствует сохранению туристических объектов и повышению их социальной привлекательности. Так, одной из наиболее известных достопримечательностей Исландии является Голубая Лагуна (Blue Lagoon) на высокотемпературном поле Свартсенги (Kristmannsdottir, Armannsson, 2003). Ее состояние и поддержание внешнего вида осуществляется путем специального оборудования. Таким образом, Голубая Лагуна представляет собой управляемую природно-техногенную систему, которая фактически, является сточным прудом ГеоТЭС.

Создание современных ГеоТЭС и систем теплоснабжения, основанных на освоении подземных гидротермальных и петротермальных месторождений, подразумевает бурение глубоких скважин, неизбежно сопровождающееся формированием стволовых техногенных тел, и трансформацию горячих подземных пластов, что приводит к образованию техногенных глубинных тел и/или зон техногенной трансформации. Техногенез наземной среды при работе ГеоТЭС в штатном режиме носит локальный характер (Суздалева и др., 2010). Вместе с тем при авариях,

сопровождающихся выбросом больших объемов высокоминерализованных термальных вод, возможно возникновение техногенных геохимических аномалий. Кроме того, соединения некоторых элементов, содержащихся в геотермальных водах (например, ртути и мышьяка), отличаются высокой токсичностью, и их выход на поверхность в районах ГеоТЭС может создать угрозу для здоровья людей.

В настоящее время в различных странах мира уже функционируют десятки ГеоТЭС. Существует и значительное количество систем гидротермального теплоснабжения. В ближайшем будущем освоение тепловой энергии земных недр, в соответствии с планами многих стран, будет интенсивно развиваться (Алхасов, 2012; 2016; Томаров и др., 2012). Это обусловлено как ростом энергетических потребностей, так и появлением новых технологий, позволяющих существенно расширить состав территорий, перспективных для строительства объектов гидротермальной энергетики. Таким образом, данная деятельность в определенный момент также может стать значимым фактором техногенеза литосферы.

В области гидротермальной энергетики применяется широкий спектр технологий (Белоусов и др., 2005; Алхасов, 2008; Алхасов, Алхасова, 2014; Белоокая, Пивоварова, 2015; Богуславский, 2020). По характеру сопутствующего техногенеза литосферы, их можно разделить на следующие категории:

1. Извлечение нагретых естественных флюидов (воды и водяного пара), без обратной закачки. Пополнение запасов нагретых вод в этом случае, как в и в естественных фонтанирующих горячих источниках (гейзерах), происходит за счет притока в гидротермальный очаг подземных вод из соседних участков толщи горных пород. Результатом является вымывание из недр значительного количества растворимых солей, что может вызвать механическое разрушение подземного пласта и изменение его

химического состава. Одновременно происходит загрязнение поверхностных водных объектов, в которые сбрасываются отработанные гидротермальные воды. Вместе с тем многие из этих веществ являются ценным минеральным сырьем. В связи с этим разрабатываются комплексные технологии одновременного получения из подземных гидротерм энергии и попутного извлечения из них полезных компонентов (Алхасов и др., 2015; 2016). Так на Тарумовском геотермальном месторождении (Дагестан) разработана технология добычи лития и ряда других ценных химических элементов.

2. Использование естественных флюидов с их обратной закачкой (реинжекцией). В данном случае отработанные гидротермальные воды и конденсат пара по специальным реинжекционным скважинам закачиваются внутрь подземных пластов, из которых были извлечены. В некоторых случаях реинжекция может осуществляться без нагнетания отработанных жидкостей под землю при помощи насосов. Их перемещение в нагреваемые пласты происходит путем опускания по скважинам под действием гравитационных сил. В любом случае, при реинжекции возникает в той или иной степени замкнутая циркуляционная система (рис. 4.14). Разрушение подземных гидротерм и трансформация их физико-химических свойств при данной технологии происходят менее интенсивно. Вместе с тем, несбалансированная реинжекция может вызвать ряд нежелательных последствий от понижения температуры гидротерм до неконтролируемого выхода избытка реинжектируемых вод на земную поверхность (Белоусов, Белоусова, 2002).

Перспективной модификацией данного метода считается бурение группы (куста) наклонных скважин, расходящихся из одного участка (рис. 4.15 – 4.16). Подобная система, например, используется для теплоснабжения г. Мелун (Франция).

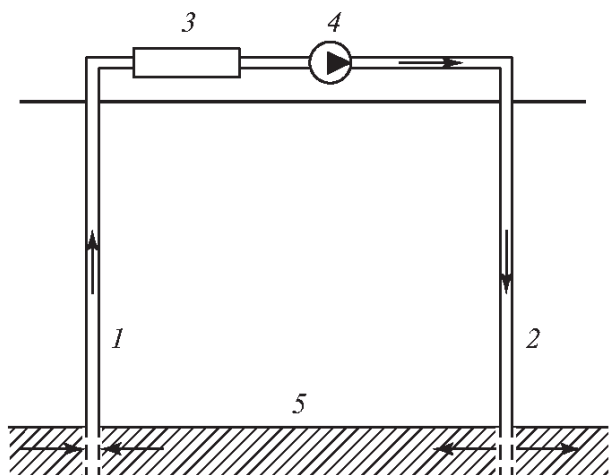


Рисунок 4.14. Схема геотермальной циркуляционной системы: 1 – добычная скважина; 2 – нагнетательная скважина; 3 – потребитель тепла; 4 – нагнетательный насос; 5 – эксплуатируемый геотермальный пласт (по Алхасов, 2016)

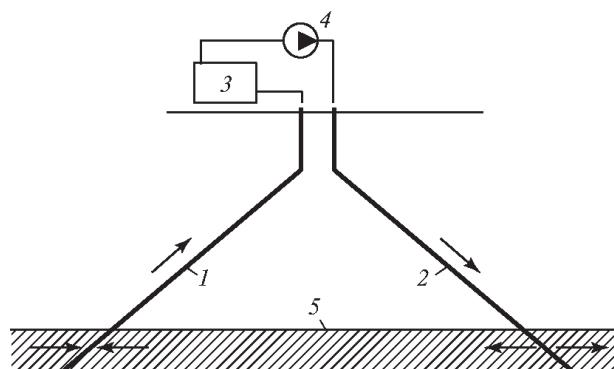


Рисунок 4.15. Схема геотермальной циркуляционной системы с наклонно-направленными скважинами: 1, 2 – добычная и нагнетательная наклонные скважины; 3 – потребитель тепла; 4 – нагнетательный насос; 5 – эксплуатируемый пласт (по Алхасов, 2016)

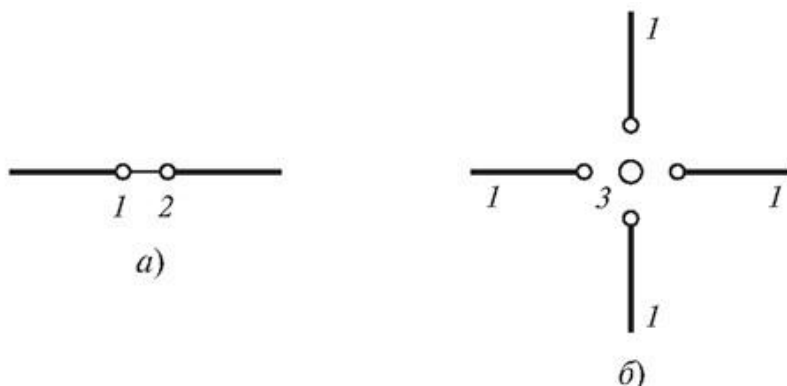


Рисунок 4.16. Кусты наклонно-направленных скважин (вид сверху): а – схема с двумя скважинами; б – схема с нагнетательной вертикальной скважиной, расположенной в центре куста; 1 – наклонная добычная скважина; 2 – наклонная нагнетательная скважина; 3 – вертикальная нагнетательная скважина большого диаметра (по Алхасов, 2016)

В качестве основного достоинства подобного способа освоения гидротермальных месторождений, как при кустовом бурении нефтегазовых скважин, указывается минимизация площади техногенеза земной поверхности. Но это не относится к масштабам трансформации недр, поскольку объемы стволовых и глубинных техногенных тел, образующихся при добыче гидротермальных вод, при использовании данной технологии возрастают.

3. Бинарные системы, которые получили свое название по причине того, что включают два отдельных контура. Один из них (первичный контур) проходит через пласты подземного гидро- или петротермального месторождения и через теплообменник, осуществляет нагрев жидкого теплоносителя, циркулирующего по вторичному контуру, который является рабочим телом, приводящим в действие турбины электрогенераторов (рис. 4.17).

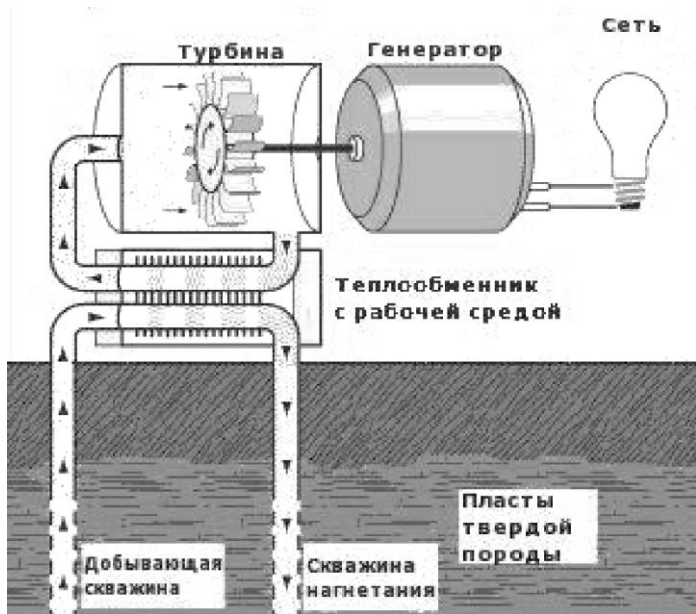


Рисунок 4.17. Схема бинарной ГеоТЭС (по Белоокая Н.В., Пивоварова, 2015)

В качестве таких рабочих тел используются жидкости с низкой температурой кипения (изобутан, изопентан, сжиженные улекислый газ пропан, дифторхлорэтан, тетрафторэтан и др) (Алхасов, 2008: 2010; Алхасов, Алхасова, 2014, Гафуров и др., 2017). Это значительно расширяет перспективы развития геотермальной энергетики, позволяет осваивать тепловую энергию подземных пластов, уровень нагрева которых относительно низок. По этой причине ГеоТЭС, работающие по бинарной схеме, создают в регионах, расположенных далеко за пределами зон вулканической активности.

Эксплуатация бинарных систем добычи геотермальной энергии (при равной мощности) сопровождаются относительно меньшим техногенным воздействием на литосферу, чем другие способы

достижения той же цели. Но широкое распространение подобных ГеоТЭС и геотермальных систем теплоснабжения станет значимым фактором техногенеза земной коры.

Образование комплексов стволовых (скважины) и глубинных техногенных тел (пласты, используемые для извлечения подземного тепла), т.е. техногенных геологических формаций, возникающих при создании объектов геотермальной энергетики, может спровоцировать ряд опасных процессов и явлений (The Future of Geothermal ..., 2006; Bayer et al., 2013). Так, неконтролируемый выход пара и горячих вод может спровоцировать образование оползней на склонах. На участках некоторых ГеоТЭС отмечены оседания земной поверхности. Например, скорость ее понижения в районе эксплуатируемого геотермального месторождения Вайракей (Новая Зеландия), на котором реинжекция не применялась, достигала 0,4 м в год (Bibby, Hurst, 1990). Сформировавшаяся в результате мульда оседания достигала 15 м глубины (Luketina, 2012). Кроме того, высказывается мнение, что вымывание материала подземных геотермальных месторождений может вызвать техногенные землетрясения (Evans et al., 2012).

4.6. ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА И ФОРМАЦИИ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ СООРУЖЕНИИ, ЭКСПЛУАТАЦИИ ШАХТ И НА ПОСТЭКСПЛУАТАЦИОННОМ ЭТАПЕ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

В настоящее время термин *шахта* используется в двух различных значениях. Во-первых, это промышленное предприятие, осуществляющее добычу полезных ископаемых из подземных горных выработок (Багазеев и др., 2015). Во-вторых, шахта – это вертикальный или наклонный канал, идущий вглубь земли. В тех случаях, когда он сооружается для сообщения с подземными

выработками, для его обозначения употребляется термин *шахтный ствол*⁵⁵.

Участок, отводимый горнодобывающему предприятию для освоения месторождений методом подземных выработок, обозначается как *шахтное поле*. Система сопряженных стволовых и глубинных техногенных тел, возникших при добыче полезных ископаемых, в некоторых случаях выходит за его границы. Как правило, на участке шахтного поля возникает обширная техногенная геологическая формация, состоящая из комплекса агрегированных тел различных видов. В угледобывающих регионах, где подобные формации слагают значительную часть земной коры, формируются техногенные геологические провинции.

Запасы полезных ископаемых в какой-то момент иссякают или их добыча становится нерентабельной. Например, осуществлявшаяся в течение нескольких десятилетий разработка угольных шахт в Монголии (месторождение Налайх), в 1994 г. была прекращена в связи началом более экономически выгодной добычей угля открытым способом в другом районе страны (Суздалева, Жаргалсайхан, 2020). Таким образом, жизненный цикл шахт, как и скважин, включает несколько основных этапов⁵⁶, во время которых их воздействие на литосферу носит значимый, но вместе с тем, существенно различный характер:

1. Проходка ствола шахты через толщу пород, залегающих над пластами полезных ископаемых.

⁵⁵ Шахта с наклонным стволом называется штольной. Штольни на горных склонах могут иметь и горизонтально ориентированный ствол. Подобные сооружения также проходят вглубь земной коры, затрагивая ее различные пласты, и последствия связанного с ними ее техногенеза принципиально не отличаются от таковых при прокладке вертикальных стволов.

⁵⁶В жизненном цикле шахт присутствуют и другие этапы, например, подготовка и вскрытие шахтного поля (Супруненко, 2013), которые в данном разделе не рассматриваются.

2. Освоение месторождения – развитие системы подземных горных выработок.

3. Постэксплуатационный период.

Горнодобывающие предприятия обычно прокладывают несколько шахтных стволов, которые подразделяются на две основные категории. Первая их них – это **главные шахтные стволы**, используемые для подъема полезного ископаемого к земной поверхности. Во вторую категорию входят **вспомогательные шахтные стволы**, предназначенные для подъема пустой породы, спуска и подъема людей, а также для спуска и подъема оборудования и других грузов. Кроме того, отдельные шахтные стволы могут использоваться для выполнения ряда специальных функций: вентиляции подземных выработок, откачки из них воды и т.п. Верхний участок шахтного ствола – от земной поверхности до коренных пород – называется **устьем ствола** (рис. 4.18). В большинстве случаев его длина колеблется в пределах 12-35 м (Ткачѳв и др., 2008). Создаваемое в нижней части шахтного ствола подземное сооружение, называется **околоствольным двором**. Он играет роль центрального узла транспортных коммуникаций, по которым поступает масса сколотых пород для подъема ее на поверхность, и с которой отправляется оборудование к горным выработкам.

Для предотвращения обрушения вокруг элементов шахтного ствола создается система сооружений, обозначаемая как его **крепь**. Ее конструкция может существенно различаться в зависимости от предназначения шахтного ствола, способа проходки и геологических условий. В большинстве случаев крепь шахтного ствола и подземных горных выработок состоит из железобетонных конструкций. При необходимости для придания дополнительной прочности в нее включаются массивные металлические элементы (чугунные или стальные тубинги и др.).

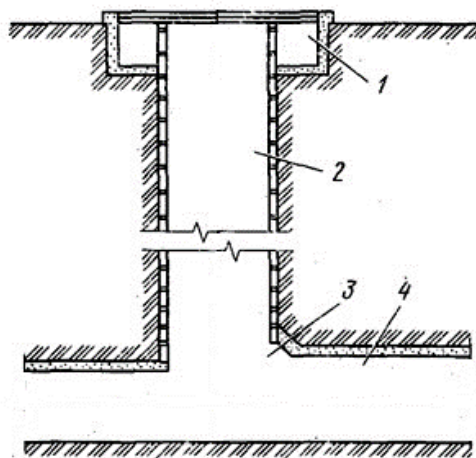


Рис. 4.18. Основные элементы шахтного ствола: 1 – устье ствола; 2 – вертикальный ствол; 3 – околоствольный двор; 4 – штрек к подземным выработкам

Максимальная глубина шахт существенно меньше, чем у скважин – в большинстве случаев не более 1000 м. Во многом это связано с высокой температурой глубинных пластов, затрудняющей создание в них условий для работы людей. Вместе тем, исчерпание запасов минерального сырья вызывает необходимость увеличения глубины шахт. В некоторых странах (Канада, ЮАР, Индия, США и др.) уже сейчас добыча ценных полезных ископаемых этим способом ведется на глубинах, превышающих 3-4 км. Самым глубоким, в настоящее время, являет рудник по добыче золота Тау Тона в Южной Африке (Fairhurst, 2017). Глубина подземных выработок на этой шахте уже достигает 5 км, а температура в них более 60°C.

Сооружение шахтных стволов неизбежно сопровождается многоплановой техногенной трансформацией значительных участков земной коры. При осуществлении этой деятельности в большинстве случаев используется **буровзрывной метод**. Разрушение горных пород также осуществляется механическим и

гидравлическим способами (Ткачѐв и др., 2008; Городниченко, Дмитриев, 2008). Сооружение шахтного ствола нередко нарушает изоляцию водоносных горизонтов и может сопровождаться межпластовыми перетоками. При креплении и гидроизоляции стенок шахт в окружающие их горные породы могут проникать различные технические жидкости, например, тампонажные растворы. В любом случае сооружение шахты сопровождается крупномасштабным нарушением структуры земной коры. Диаметр шахтного ствола, в зависимости от его предназначения, составляет от нескольких метров (вспомогательные стволы) до нескольких десятков метров (основные стволы). Формирующиеся вокруг него **техногенные стволочные тела** (рис. 4.19), имеют существенно большие масштабы, чем при бурении скважин. Новый этап их формирования происходит в постэксплуатационный период. Разрушение стенок заброшенного шахтного ствола сопровождается заполнением его смесью природных и техногенных материалов. В результате его полость превращается в стволочное техногенное геологическое тело. Нередко заброшенные шахтные стволы заполняются водой, что может привести к разжижению окружающих их горных пород, развитию процессов суффозии и карстообразования. Известны случаи техногенного образования **многолетнемерзлых пород** в заброшенных шахтах и подземных горных выработках в результате проникновения в них холодного воздуха в зимний период и его последующего «застаивания» (Котлов, 1977). Следует отметить, что подобные явления наблюдались за пределами зоны распространения многолетней мерзлоты поверхностных слоев. Подобные образования можно рассматривать как отдельную категорию техногенных тел – **криотехногенные тела**. Таким образом, **изменение структуры и свойств участка земной коры при сооружении шахтного ствола**

и его разрушении в постэксплуатационный период **может происходить в результате воздействия следующих факторов:**

1. Механического разрушения при распространении в массивах горных пород взрывных волн и вибрации от работы горнопроходческих машин и их комплексов.

2. Нарушения естественной гидроизоляции пластов земной коры, что может становиться причиной возникновения межпластовых перетоков, вызывать как обводнение, так и снижение влагосодержания в массивах горных пород.

3. Проникновения в подземные пласты различных технических жидкостей, в т.ч. тампонажных растворов.

4. Затопления шахтного ствола.

5. Образования в шахтах и подземных выработках техногенных многолетнемерзлых пород.

6. Заполнения полости шахтного ствола материалами различного происхождения при разрушении его стенок.

Воздействие на литосферу группы шахтных стволов, размещенных на относительно небольшом расстоянии друга от друга, может носить синергический характер, т.е. проявляться в форме единого явления или процесса. Примером может служить образование вокруг них обширного участка, на котором отмечается изменение уровня верхнего горизонта подземных вод, что можно рассматривать как техногенную формацию, в которой присутствуют как техногенные тела, так и обводненные горные массивы, сохранившие свой естественный облик (т.е. зоны техногенного влияния).

Глубинные техногенные тела формируются в результате создания и расширения сети подземных горных выработок и ведущих к ним коммуникаций, служащих для транспортировки добываемого полезного ископаемого, вентиляции, водоотведения и иных целей (рис 4.19).

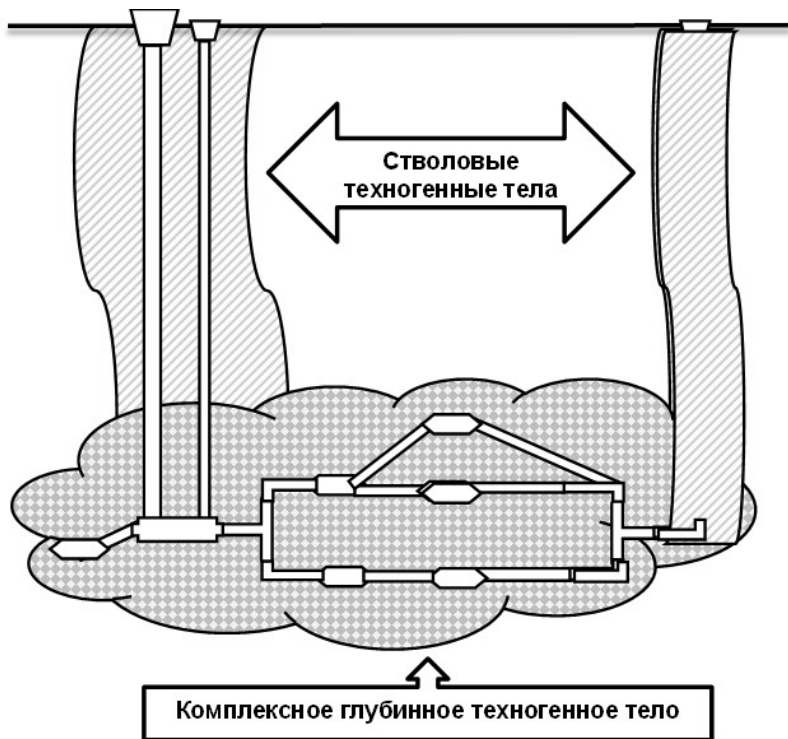


Рис. 4.19. Стволовые тела, формирующиеся вокруг основных вспомогательных шахтных стволов и комплексное глубинное техногенное тело, окружающее систему горных выработок и связывающих их коммуникаций

При их прокладке также наиболее часто используется буровзрывной способ. Так, в российской угольной промышленности он применяется при работе на 80% подземных выработок (Ткачёв и др., 2008).

Достаточно широко распространены механические средства, например горные комбайны – машины, одновременно выполняющие операции по отделению от массива полезного ископаемого или породы и погрузки их на транспортные средства. Применяется и гидравлический способ проходки – размыв породы

струей воды, подаваемой так называемыми гидромониторами. Работы всех этих видов неизбежно приводят к трансформации горных пород (возникновению трещин, обводнению и т.п.), сопровождающейся образованием реструктурированных техногенных геологических тел.

В период освоения месторождения в результате перемещения забоев сеть подземных сооружений шахты непрерывно расширяется. Общая протяженность подземных горных выработок одной шахты и идущих к ним штреков может достигать десятки километров. Они могут располагаться в несколько ярусов, в соответствии с залеганием отдельных пластов, содержащих полезное ископаемое. В результате техногенеза геологической среды, окружающей систему подземных выработок и ведущих к ним коммуникаций, формируется огромное комплексное техногенное глубинное геологическое тело или техногенная геологическая формация (если в области техногенеза горных пород можно выделить несколько более или менее обособленных тел).

Создание полостей горных выработок вызывает перемещение и деформирование естественных геологических тел (Багазеев и др., 2015). Данный процесс обозначают как **сдвигение горных пород**. Обычно начинается с прогиба кровли выработок и усиливается при ее обрушении. По мере увеличения площади выработанного пространства этот прогиб расширяется и в сдвигение вовлекается все большее число вышележащих слоев. В них появляются секущие трещины и трещины расслоения⁵⁷, разделяющие горные массивы на отдельные блоки. Происходит разрыхление горных пород, а на земной поверхности могут возникать глубокие трещины и провалы (Котлов, 1977). Часть массива горных пород, в которой происходят подобные процессы, обозначают как **область сдвижения горных**

⁵⁷ Секущие трещины идут в направлении, не совпадающим с плоскостью простирания пласта, трещины расслоения – параллельны этой плоскости.

пород. Данный участок литосферы приобретает иные свойства (прочностные, связность и проницаемость) и в зависимости от особенностей своей структуры также может рассматриваться либо как крупномасштабное реструктурированное техногенное тело, либо как техногенная формация.

Возникающее в результате развития данного процесса понижение земной поверхности, часто сопровождающееся деформацией ее рельефа, называют *мульдой сдвижения*⁵⁸. Крепь горных выработок, как правило, не приводит к полному предотвращению процесса сдвижения горных пород, а лишь препятствует его развитию до уровня, способного вызвать катастрофические последствия. Вместе с тем, понижение земной поверхности на участках мульд сдвижения (проседания) по вертикали может составлять несколько метров, а в некоторых случаях достигать десятков метров (Котлов, 1977). Обычно она колеблется в диапазоне от 50 до 80% от высоты обрушившейся горной выработки. По горизонтали мульды сдвижения могут распространяться на несколько километров. Расположенные на их территории здания и сооружения могут деформироваться и разрушаться (рис. 4.20).

Значимые изменения в земной коре вызывают *шахтные воды*, поступающие в подземные горные выработки из водоносных горизонтов. Нарушение естественной изоляции пластов и образование искусственных пустот при проходке породных массивов создает условия для возникновения потоков этих вод. При проникновении их в пласты, сложенные растворимыми и непрочными породами, в них начинаются интенсивные процессы суффозии и карстообразования.

⁵⁸ В геологической литературе термины «мульда оседания (проседания)» и «мульда сдвижения» часто рассматриваются как синонимы.



Рисунок 4.20. Разрушение здания в зоне сдвижения пород над горными выработками – подрабатываемой территорией (по Котлов, 1977)

Результатом может стать возникновение крупномасштабных провалов земной поверхности, а также техногенных землетрясений (Осипов и др., 2016).

Не менее значительные изменения геологической среды, окружающей шахты, происходят **в постэксплуатационный период**. По окончании добычи подземные сооружения шахт постепенно разрушаются и нередко затапливаются водой (Мохов, 2012). При обрушении кровли заброшенных выработок их пространство заполняется обломками породы и остатками техногенным материалов, главным образом, фрагментами крепи. В результате возникает **техногенное тело смешанного происхождения**. Затопление шахт становится причиной образования трещин, суффозии, карста, нарушения гидрогеологической структуры недр. В этих условиях сдвижение горных пород над обрушивающимися подземными выработками

усиливается и может послужить триггером техногенных землетрясений. Процессы, происходящие при разрушении выработанного пространства шахт, могут оказывать негативное воздействие на условия в наземно-воздушной среде. Так, при затоплении шахт в воду из горных пород могут поступать различные токсичные соединения. Затем происходит загрязнение ими подземных вод, которые выходя к поверхности (например, в виде родников), отравляют расположенные на ней различные водные объекты (Неволин и др., 2008; Мохов, 2011). Пожары, возникающие в заброшенных угольных шахтах, всегда сопровождаются загрязнением атмосферы (Станис, 2005).

В постэксплуатационный период из шахт может происходить интенсивное выделение метана и углекислого газа, что рассматривается как источник экологической опасности (Корчагина и др., 2017). Вместе с тем, выделяющийся метан может с помощью специальных коллекторов собираться в устьях шахт и использоваться как топливо. Но на практике подобное решение проблемы эмиссии газообразных продуктов осложняется тем, что их выход происходит не по стволам, а по трещинам, образовавшимся в геологической среде. Таким образом они распространяются и на территории некоторых населенных пунктов. Описаны случаи, когда в подвальных помещениях домов в результате этих процессов накапливался непригодный для дыхания воздух «мертвый воздух», сформировавшийся из шахтных газов (Еремеев, 2001). Это становилось причиной отравления людей, иногда со смертельным исходом. В связи с выделением метана, углекислого газа, окиси углерода и других токсичных газов на площадях горных отводов ликвидируемых шахт в Восточном Донбассе установлено около 200 угрожаемых и около 70 опасных зон, в пределах которых расположено свыше 9 тысяч жилых домов и административно-промышленных зданий.

Возможны и опасные явления иного рода. Так, на шахтах Прокопьевско-Киселевского района Кузбасса после выгорания мощных угольных пластов на глубине 300-400 м, образовавшиеся в результате этого пустоты заполнялись водой с высоким содержанием различных веществ (Костарев, Митишова, 2000). Данный процесс можно рассматривать как образование в земной коре жидких техногенных геологических тел. Содержащиеся в них растворы также могут мигрировать к поверхности и, следовательно, представляют потенциальную угрозу для здоровья людей и окружающей среды. Кроме того, возникновение на месте выгоревших выработок обширных пустот создает дополнительный риск проседаний земной поверхности, а также образования заполненных водой глубоких провалов.

Как показали результаты специальных исследований, в затопленных шахтах происходит интенсивное развитие некоторых групп бактерий (Кадников и др., 2019; Панова и др., 2020). Их жизнедеятельность способна вызвать микробиологическую трансформацию геологической среды.

Следует обратить внимание на то, что затопление заброшенной шахты, может вызвать прорывы вод в стволы и подземные выработки других еще эксплуатируемых шахт данного района. Это происходит благодаря обводнению геологической среды (изменению гидрогеологических условий) и установлению гидравлической связи между подземными сооружениями. Так, затопление шахты «Западная – Капитальная» в Ростовской области спровоцировало затопление соседних шахт им. Ленина и «Комсомолец» (Митишова, Милетенко, 2015). Аналогичные явления отмечены и на других объектах (Мохов, 2006; Милетенко, Рульков, 2009). Подобные случаи можно рассматривать как своеобразное проявление в процессе техногенеза земной коры, так называемого *эффекта домино*, при котором расширение зоны

воздействия одного объекта вызывает аналогичные явления на других, охватывая все больший объем подземного пространства.

Отдельный вид глубинных техногенных геологических тел формируется из отходов, захораниваемых в подземных выработках, добыча полезного ископаемого в которых уже завершена. Эти отходы принадлежат к двум различным категориям. Первая из них в основном формируется из измельченной или фрагментированной пустой породы, образующейся в процессе добычи полезного ископаемого. Ко второй категории относятся различные случаи тафономирования в подземных выработках отходов, доставляемых с поверхности. В большинстве случаев это твердые бытовые отходы (ТБО), а также твердые промышленные отходы (ТПО) (Закоршменный, 2005). Предлагалось заполнять этими материалами выработанное подземное пространство не только с целью захоронения отходов, но и, одновременно, для предотвращения обрушения кровли выработок и сдвижения горных пород (Агафонов, Иванов, 2010). Для изоляции ТБО от геологической среды была разработана технология переработки их материала в пастообразную массу, которая после поступления в выработанное пространство застывает благодаря добавляемому отвердителю (Шаровар, 2000). В ФРГ на шахте «Вальзум» была предпринята попытка внедрения этого метода, результаты которой рассматривались как свидетельство его высокой технико-экономической и экологической эффективности. Кроме того, выдвигалась идея сжигания ТБО в подземных выработках с последующим использованием тепловой энергии (Ярунина, 1994; Абрамкин, 2000)⁵⁹. При этом продукты термической переработки отходов также планировалось размещать в подземных выработках.

В период захоронения отходов обеих категорий, т.е. образующихся при работах в шахте и транспортируемых в нее с

⁵⁹ Данная идея уже упоминалась при описании технологии ПСУ в разд. 4.4.

поверхности, формирующиеся из них подземные массивы вещества можно рассматривать как пополняемые техногенные тела, которые затем превращаются в исторические.

Таким образом, в **число процессов, приводящих к образованию глубинных техногенных тел при шахтной добыче полезных ископаемых**, можно включить:

1. Буровзрывные работы при прокладке подземных коммуникаций и в забоях.
2. Сдвигение горных пород над выработанным пространством.
3. Интенсификация процессов суффозии и карстообразования в результате распространения в массивах горных пород шахтных вод.
4. Создание в подземных выработках массивов из различного рода отходов.
5. Обводнение и разжижение горных пород при затоплении выработок в постэксплуатационный период.
6. Заполнение пространства выработок обломочным материалом и остатками крепи при обрушении их кровли.
7. Горение заброшенных подземных выработок.
8. Микробиологическая трансформация геологической среды.

Следует отметить, что последствия некоторых из этих процессов наблюдаются по прошествии длительного периода времени и в ряде случаев проявляют тенденцию к расширению зоны своего проявления. Например, в некоторых районах Аппалачской горной системы (США) связанные с разрушением подземных выработок сейсмические явления не заканчивались в течение нескольких десятилетий. При этом площадь, на которой они отмечались, на 1-2 порядка превышала размер шахтных полей (Бучкин и др., 1989). Высказывается предположение, что инерционность техногенной трансформации геологической среды в районах заброшенных шахт может составлять сотни лет (Сляднев, 2003).

4.7. ОБРАЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Значительное число *подземных ядерных взрывов* (ПЯВ) было осуществлено во второй половине XX века, главным образом, на территориях США и СССР. Эта деятельность преследовала различные цели. Первая из них – это испытания ядерных боеприпасов. Последний ПЯВ на территории Российской Федерации (на момент испытаний – на территории СССР) был проведен 24.10.1990 г. на Северном испытательном полигоне Новая Земля (Андрюшин и др., 2003). В последующие годы от проведения ПЯВ отказались и другие государства, обладающие ядерным оружием. Так, в Великобритании последний из них был осуществлен в 1991 г., в США – в 1992 г., во Франции и Китае – в 1996 г. Вместе с тем, как показывает опыт Северной Кореи, подземные испытания ядерного оружия могут возобновиться в других странах, стремящимся им обладать. Кроме того, в последние годы вопрос о возобновлении ядерных испытаний неоднократно поднимался в США.

Вторая цель, которую преследовала организация ПЯВ, заключалась в крупномасштабном изменении условий в земной коре для улучшения условий недропользования, главным образом, с целью повышения дебита нефтяных и газовых скважин, а также условий освоения месторождений углеводородного сырья. Следует отметить, что впервые ПЯВ проводились именно для решения этих задач. Испытания же ядерных боеприпасов в начальный период осуществлялись в наземно-воздушной среде и под водой. Так, первые в мире ПЯВ были использованы в СССР в 1965 г. при разработке Грачевского нефтяного месторождения (Башкирия) (Шахиджанов, Кирюхина, 2005). В 1967 г. опытно-промышленные работы по применению ПЯВ для интенсификации добычи природного газа были начаты в США. Кроме того, ПЯВ

использовались при геофизических исследованиях и в некоторых иных областях, непосредственно не связанных с разработкой ядерных вооружений (Андрюшин и др., 2003). Осуществление подобных, так называемых мирных ПЯВ, проводилось в течение достаточно длительного периода и различных точках. Так, только в СССР с 1965 по 1988 гг. их было проведено 124 (Кирюхина, Шахиджанов, 2005). Большинство этих ПЯВ (98) осуществлено в регионах освоения ресурсов нефти и газа. Мощность ядерных зарядов составляла до нескольких десятков килотонн, а глубина заложения от 100 до 2900 м. Аналогичные мирные ПЯВ проводились и на территориях других государств. Впоследствии от реализации подобных проектов оказались, поскольку различные побочные эффекты ПЯВ затрудняли получение ожидаемых результатов. Поступление на рынок радиоактивных нефтепродуктов создало бы угрозу для жизни и здоровья широких масс населения. Кроме того, отмечалось проникновение значительных количеств радионуклидов сначала в подземные воды, а затем и на земную поверхность (Артамонова, 2013). Этому способствовало увеличение трещиноватости горных массивов после взрывов. Кроме того, вызванное ими разрушение структуры земной коры приводило к повышению сейсмичности, которое проявляется в некоторых районах ПЯВ и по прошествии десятков лет. Но за более чем 20-летний период проведения подобных экспериментов ядерновзрывные тела уже стали достаточно распространенным продуктом техногенеза земной коры.

В качестве третьей цели использования ПЯВ рассматривалось создание так называемого тектонического оружия, заключавшегося в попытках управлять процессом возникновения катастрофических землетрясений на территории противника, а также вулканических извержений (Адушкин, Козлов, 2011). Так, в СССР в 1987 г. с этой целью были начаты исследования по Программе “Искатель-К”, посвященной разработке различных видов геофизического оружия.

Входившая в нее подпрограмма “Меркурий”, была направлена на создание тектонического оружия на основе ПЯВ. Аналогичные исследования проводились и в США.

При организации ПЯВ размещение ядерного заряда в недрах земли осуществлялась путем создания наклонных тоннелей (штолен) или вертикальных шахт (скважин). Глубина заложения, как правило, колебалась в пределах нескольких сотен метров. Происходившие при взрыве изменения в массивах горных пород зависели от мощности ядерного запаса и свойств окружающих его горных пород, но в целом носили аналогичный характер (Адушкин, Спивак, 2004; Шахиджанов, Кирюхина, 2005). Обобщенная схема трансформации участка земной коры в результате ПЯВ представлена на рисунке 4.21.

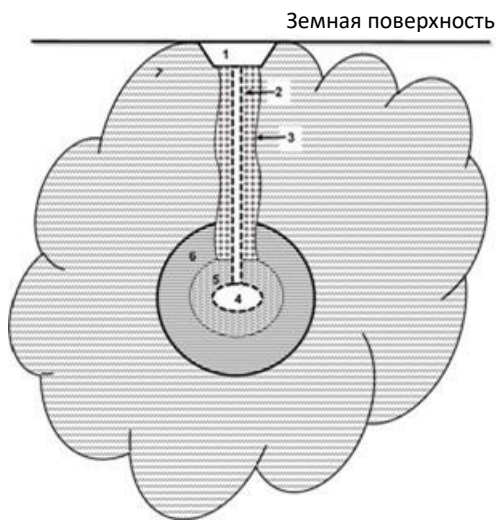


Рисунок 4.21. Обобщенная схема изменений участка земной коры в результате ПЯВ при закладке заряда в стволе шахты или скважины. 1 – воронка оседания; 2 – ствол шахты (скважины); 3 – столб обрушения; 4 – полость ядерного взрыва; 5 – зона дробления (смятия); 6 – зона трещиноватости; 7 – зона техногенного влияния

Образующееся *глубинное ядерновзрывное геологическое тело* включает несколько зон (Николаев, 2006). В точке размещения ядерного заряда возникала полость диаметром несколько десятков метров, содержавшая значительное количество радионуклидов. Со временем она обычно заполнялась водой (или иным флюидом), а при обрушении кровли этой полости – ее обломками. Вокруг нее в радиусе нескольких десятков метров формировалась зона смятия горных пород, в которой они (после воздействия высокой температуры и давления) изменяли свои изначальные свойства и текстуру, отмечалось снижение их прочностных характеристик. Еще дальше от центра взрыва возникала зона высокой трещиноватости горных пород, которая могла простираться на сотни метров.

Стволовое техногенное геологическое тело, образующееся после ПЯВ, также имеет сложную структуру. Над полостью при обрушении ее кровли и уплотнения геологической среды в зоне смятия горных пород формировался столб обрушения. При вертикальной закладке ядерного заряда столб обрушения захватывает ствол шахты (скважины), а при наклонном – его расположение не совпадает с направлением штольни. Протяженность столбов обрушения обычно составляет более 100 м и иногда они доходят до поверхности. В этом случае на ней в результате оседания разрушенных горных пород возникает воронка, диаметром в несколько десятком метров (иногда сотен метров). В других случаях верхняя часть шахты (скважины, штольни), отделенная от нижней различными защитными сооружениями, в некоторых случаях сохранялась.

Глубинное тело и значительную часть стволового тела, т.е. техногенную геологическую формацию, образующуюся в результате ПЯВ, практически всегда охватывает обширная зона техногенного влияния, которая в некоторых случаях простирается на десятки километров. Естественные геологические тела в ее пределах сохраняют свою структуру и породный состав, но некоторые

процессы, протекающие в них, существенно изменяются. Наиболее часто это проявляется в трансформации гидрогеологических условий в результате нарушения целостности водоупорных пластов (Геворкян, Голубов, 1998). В результате радионуклиды из глубинного ядерновзрывного тела распространяются в земной коре с подземными водами и могут в значительном количестве выходить с ними на земную поверхность, вызывая ее радиоактивное загрязнение.

Выход на земную поверхность радиоактивных вод может также осуществляться по сохранившейся после взрыва и надлежащим образом не изолированной верхней части ствола шахты или скважины. Данный процесс может происходить на протяжении весьма длительного периода. Причем интенсивность процесса поступления радионуклидов к поверхности со временем иногда даже возрастает, например, по мере разрушения горных пород и повышения их водопроницаемости. Таким образом, глубинные ядерновзрывные тела, образовавшиеся десятки лет назад, могут стать источником опасности для будущих поколений людей. Например, результатом ПЯВ "Кратон-3", проведенного в Якутии в 1978 г., стало возникновение выходящих на земную поверхность источников загрязненной радионуклидами воды, которая на современном этапе рассматривается как разновидность радиоактивных отходов. Для их захоронения разрабатываются проекты специальных крупномасштабных сооружений-могильников (см. раздел 5.3), в которых замороженная радиоактивная вода будет захораниваться на длительный срок (Хохолов, 2017).

Следует отметить, что глубинные ядерновзрывные тела содержат большое количество радионуклидов, период полураспада которых составляет десятки и сотни лет. Существуют расчеты, согласно которым уровень радиоактивности искусственно созданных скоплений высоко-опасных радиоактивных материалов станет

сравним с природными источниками ионизирующих излучений (например, залежей урановых руд) примерно через 100000 лет (Кочкин, 2012). За столь длительный период существует риск вскрытия подземных ядерновзрывных тел (как и поземных могильников радиоактивных отходов – см. раздел 5.3) при крупномасштабных импактных событиях различного рода, приводящих к разрушению земной коры (Шестопалов и др., 2012). Это приведет к радиоактивному загрязнению значительных участков на поверхности Земли и ее атмосферы.

Последствия проведения ПЯВ могут также проявляться в повышении сейсмичности территории (Шакуров, 2016). При этом следует отметить, что техногенные землетрясения могут возникать и по прошествии длительного периода после момента ПЯВ. Их причиной могут являться подвижки пластов земной коры, слагающие породы которых, утратив при взрыве свои прочностные свойства, в течение длительного времени разрушались.

4.8. ГЛУБИННЫЕ ХРАНИЛИЩА УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА В ТОЛЩЕ ГОРНЫХ ПОРОД

В земных недрах многих стран уже десятки лет существуют подземные хранилища нефти и природного газа, а также иных жидких и газообразных материалов (бензина, дизельного топлива и т.п.) (Нагорный, Глоба, 2014). Они создаются в различных массивах, плотных и непроницаемых для углеводородов, в число которых входят: каменные и калийные соли, гипсы, ангидриты, глины, мергели, известняки, доломиты, граниты, гнейсы, многолетнемерзлые породы.

Строительство нефтегазовых хранилищ в толще земной коры рассматривается как одна из наилучших доступных технологий (НДТ), использование которой минимизирует экологическую опасность этой сферы деятельности (ИТС-46 ..., 2019). Вместе с тем,

к реализации подобных проектов следует подходить с большой осторожностью, поскольку полная ликвидация подобных хранилищ, в случае возникновения опасных последствий их создания, практически невозможна.

Глубинный резервуар подземных хранилищ и продуктопроводы, соединяющие его с наземными объектами, образуют **техногенную формацию из стволовых и глубинных тел**. Существует несколько типов подобных хранилищ (Добина, Евстропов, 1967; Сохранский, Черкашенинов, 1978; Нагорный, Глоба, 2014), из которых, с точки зрения проблем второй геологии, наибольший интерес представляют три, получившие достаточно широкое распространение:

1. **Подземные хранилища шахтного типа**. Это полости, создаваемые путем переоборудования различных подземных выработок. Так, в США с 1960 г. в угольной шахте Лейден (штат Калифорния) функционирует газохранилище, объем которого равен 4,25 млн. м³. Во Франции в бездействующей железорудной шахте создано подземное хранилище нефтепродуктов емкостью 5 млн. м³. Оно представляет собой систему вертикальных и горизонтальных выработок шириной 5-6 м и высотой до 100 м. В Германии существует подземное хранилище сырой нефти емкостью 500 тыс. м³ в отработанной шахте, расположенной на глубине 500-600 м (Сохранский, Черкашенинов, 1978).

2. **Хранение газов в пористых породах (коллекторах)**. Нагнетаемые в них газы могут быть вновь быстро подняты к поверхности. Для этой цели используются пласты, из которых ранее добывались природные запасы нефти и газа (Нагорный, Глоба, 2014). Кроме того, такие хранилища создаются на основе глубинных водоносных пластов, из которых вода вытеснялась газом, подаваемым под давлением через пробуренные скважины. Таким путем в СССР в 1960 г. на основе подземного водоносного пласта

было создано одно из крупнейших в мире Щелковское хранилище (пригородная зона г. Москвы), в котором хранится более 3,0 млрд. м³ газа. Скопление газа в пористых породах размещено на глубине 900 м. Оно имеет эллипсоидную форму с размерами 6 км в длину и 2,5 км в ширину. Площадь хранилища равна 18 км².

3. Искусственно создаваемые емкости в толще горных пород (искусственные каверны). В развитии данного направления на современном этапе в мировой практике наибольшее распространение получают подземные нефтегазохранилища на основе искусственных каверн в залежах (куполах) каменной соли. Уже в середине 70-х годов XX века их объем составлял: составил: в США – 30, Франции – 15, ФРГ – 12 млн. м³ (Стукалова, Вилков, 1977). В настоящее время в Российской Федерации ООО «Газпром» создает Волгоградское подземное хранилище газа (ПХГ), которое станет крупнейшим в Европе газохранилищем этого типа. Его объем составит 800 млн. м³.

При создании нефтегазохранилищ в искусственных кавернах каменной соли обычно применяется следующая технология. Через пробуренные скважины, вокруг которых неизбежно возникают стволовые техногенные тела, в пласт каменной соли подается вода и отводится рассол. Образующаяся подземная полость затем под давлением заполняется жидкостью или газом, вытесняющим рассол (рис. 4.22). Создание резервуаров подобных хранилищ, обычно размещающихся на 300 до 1200 м от земной поверхности, можно рассматривать как целенаправленное формирование жидких и газообразных техногенных геологических тел. Аналогичные тела формируются и при хранении углеводородов в переоборудованных для этой цели подземных выработках. При организации газовых хранилищ в отработанных коллекторах формируются техногенные двухфазные геологические тела (газ – твердая вмещающая порода).

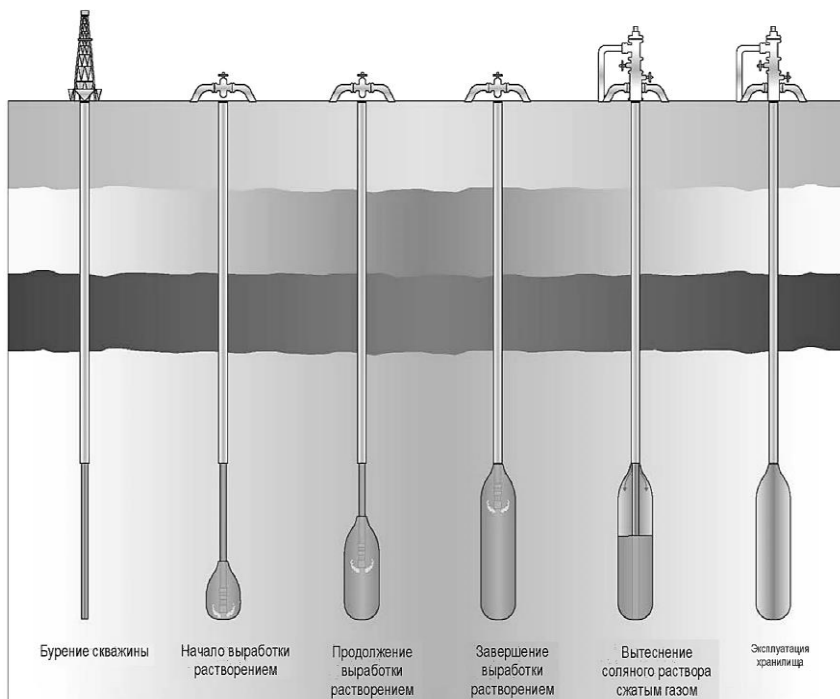


Рисунок 4.22. Схема создания подземного газового хранилища в соляном куполе (по <http://www.tamintl.com>)

ГЛАВА V. ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ

5.1. ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ И ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ

Согласно определению, данному в статье 1 Федерального закона «Об отходах производства и потребления» от 24 июня 1998 г. №89-ФЗ, **отходы производства и потребления** – это остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, иных изделий или продуктов, которые образовались в процессе производства или потребления, а также товары (продукция), утратившие свои потребительские

свойства. В ряде других действующих нормативных актах в определение этого понятия вносится важный аспект, характеризующий причину образования из них техногенных тел. Так, например, в ГОСТ Р 54259-2010 (пункт 3.55)⁶⁰ указывается: отходы – любое вещество или объект, который владелец выбрасывает, предполагает выбросить или обязан выбросить. То есть, это не просто вещества или изделия, непригодные для непосредственного использования, а объекты, которые необходимо удалить из среды жизнедеятельности человека. По вполне понятным причинам для этого в первую очередь используются участки земной поверхности, одновременно отвечающие двум основным требованиям. Во-первых, они должны находиться как можно ближе к месту образованию отходов, что снижает усилия (затраты) по их удалению. Но в тоже время желательно, чтобы это расстояние было бы достаточным для исключения негативного влияния вывозимых отходов на условия жизни населения (возникновение неприятных запахов, продуктов горения, дефляции и т.п.). Во-вторых, для размещения отходов можно использовать только места, не предназначенные для других целей (например, создания парков и иных организованных резортов). Количество участков, одновременно удовлетворяющих обоим требованиям, ограничено. По этой причине во все периоды развития человеческой цивилизации отходы не рассредоточивались в окружающей среде, а образовывали скопления, многие из которых со временем формировали техногенные геологические тела или структуры. Первоначально это были свалки, окружавшие крупные поселения и состоящие преимущественно из коммунально-бытовых

⁶⁰ Близкое по смыслу определение также приводится в ГОСТ Р 58033-2017, п. 10.13; ГОСТ Р ИСО 14046-2017, п. 3.5.3; ГОСТ Р 56598-2015, п. 3.1; ГОСТ 33564-2015, п. 4.1.6; ГОСТ Р 56255-2014, п. 4.134; ГОСТ Р 56276-2014, п. 3.1.5.9; ГОСТ Р ИСО 14040-2010; п. 3.35; ГОСТ Р ИСО 14050-2009, п. 3.12.

отходов. Еще в Древнем Мире возникла необходимость контроля этого процесса. Городские свалки переходили из категории стихийно формирующихся скоплений отбросов в категорию участков их организованного размещения. Как правило, это делало свалки более компактными⁶¹, но не останавливало роста их общей массы и расширения занимаемых площадей.

В результате промышленной революции состав отходов на свалках принципиально изменился. Общее количество размещаемых на них отходов производственных предприятий стало превышать массу бытовых отходов. Данная тенденция наблюдается до сих пор. Так, в Германии количество бытовых отходов составляет 28 млн тонн/год, а общая масса отходов – вместе с отходами промышленных предприятий – 400 млн тонн/год (Гальперин и др., 2006а). Наряду со свалками, пополняющимися из различных источников (смешанными свалками), на рубеже XIX и XX веков возникли и чисто промышленные свалки. В дальнейшем изменение характера свалочного материала (прежде всего, его токсичности) потребовало сооружения специальных объектов – **полигонов хранения опасных отходов**, обеспечивающих их изоляцию от окружающей среды.

На современном этапе объем отходов постоянно возрастает. Ежегодно количество отходов, приходящихся на одного жителя планеты, увеличивается на 4-6%, т.е. растет в 3 раза быстрее, чем численность населения Земли (Сапожникова, 2010). Еще недавно считалось, что 75% всех отходов, а это около 300 млрд. тонн в год, образуется в США и экономически развитых странах Западной Европы. В настоящее время приоритет в этой области, по-видимому, уже перешел к Китаю и другим странам юго-восточного азиатского

⁶¹ На единицу площади организованной городской свалки в среднем, как правило, приходится значительно больший объем (масса) отбросов, чем на свалках, стихийно возникающих.

региона. Однако достоверные данные по этому вопросу отсутствуют. Вместе с тем, даже на основе имеющихся материалов уже можно с уверенностью утверждать, что мировой объем производимых отходов огромен. Если их сложить в одном месте, то возникло бы образование размером с гору Эльбрус. Несмотря на стремление к внедрению малоотходных технологий, рост мирового производства сопровождается увеличением общего объема отходов. На удовлетворение пищевых и бытовых потребностей (включая потребность в жилье) одного среднестатистического человека ежегодно в год расходуется около 20 т различного сырья. Из него лишь 5-10% вещества переходит в конечный продукт, а 90-95% составляют отходы (Трифорова и др., 2003; Сапожникова, 2010). Через относительно короткое время отходом в подавляющем большинстве случаев становится любой материал или изделие. С этой точки зрения можно считать, что человеческая цивилизация, в конечном счете, производит только отходы.

Практически во все времена часть материалов, выбрасываемых на свалки, а впоследствии и вывозимых на полигоны хранения отходов, тем или иным способом утилизируются в процессе эксплуатации данных объектов. Так, городские свалки периодически поджигались. Кроме того, на них всегда осуществлялся сбор материалов, представляющих какую-либо хозяйственную ценность. Эта деятельность выходит за рамки темы настоящей монографии и в ней не рассматривается. Предметом нашего исследования является только та часть вещества скоплений отходов, предназначенная для окончательного захоронения (тафономирования) и изначально не рассматриваемая в качестве источника вторичного сырья⁶². Следует отметить, что масса

⁶²Это не исключает изменение взгляда на экономическую ценность захораниваемых сейчас материалов. В будущем существовавшие когда-то свалки будут восприниматься как техногенные геологические тела. Извлечение из них полезных компонентов – это не сбор вторичного сырья,

захораниваемых отходов в России и многих других странах в настоящее время преобладает по сравнению с массой утилизируемых. Так, из отходов Московского мегаполиса захоранивается более 80% отходов и, по мнению специалистов, данная тенденция сохранится и в обозримом будущем (Мурашов, 2007). Именно эта часть отходов является источником образования техногенных геологических тел, среди которых можно выделить следующие основные категории:

- техногенные тела, образовавшиеся из городских свалок;
- техногенные тела, формирующиеся на основе свалок промышленных предприятий и полигонов захоронения опасных отходов;
- техногенные тела, формирующиеся из отходов, возникающих в процессе градостроительной деятельности (главным образом, из отходов строительства и сноса);
- техногенные тела скоплений золошлаковых отходов.

5.2 ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА, ВОЗНИКАЮЩИЕ ИЗ ГОРОДСКИХ СВАЛОК

Согласно определению, данному в ГОСТ Р 56258-2014 (п. 3.180), **свалка** – местонахождение отходов, использование которых в течение обозримого срока не предполагается. Обычно ограниченность участка, используемого в этих целях, требует, чтобы материал на них размещался компактно, образуя кучи или валы, нередко достигающие высоты нескольких метров, а в ряде случаев – и нескольких десятков метров. Для обозначения подобных вещественных массивов используется термин **свалочное тело** (landfill mass) (ГОСТ Р 54531-2011, п. 12.9). С позиций второй

а разработка техногенных месторождений, представляющая собой принципиально иной вид деятельности, который можно рассматривать как направление горнодобывающей промышленности.

геологии подобные образования рассматриваются как **хозяйственно-бытовые техногенные тела**.

Бытовые отходы, служащие основным материалом формирования городских свалок, включают весьма широкий спектр компонентов. Так, по определению, приводимому в ГОСТ Р 58033-2017 (п. 10.17), **отходы бытовые** (household waste) – отходы потребления, образующиеся у населения, в том числе при приготовлении пищи, уборке и ремонте жилых помещений, содержании придомовых территорий и мест общего пользования, содержании в жилых помещениях домашних животных и птиц, а также устаревшие, пришедшие в негодность предметы домашнего обихода. Таких образом, бытовые отходы – это в основном фрагменты твердых материалов или пришедшие в негодность изделия из них. По этой причине, как в научной литературе, так и в нормативных документах весьма распространен термин **твердые бытовые отходы (ТБО)**. Но в последней редакции Федерального закона «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 г. №89-ФЗ в статье 1 для обозначения твердой фракции бытовых отходов рекомендуется использовать термин **твердые коммунальные отходы (ТКО)** – отходы, образующиеся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами, а также товары, утратившие свои потребительские свойства в процессе их использования физическими лицами в жилых помещениях в целях удовлетворения личных и бытовых нужд⁶³ Нередко на городские свалки вывозятся промышленные и строительные отходы, но, как правило, они составляют менее значительную часть массы свалочного тела, чем бытовые отходы.

⁶³В нормативных документах также используются близкий по значению термин **муниципальные отходы** (ГОСТ 33564-2015, п. 4.1.7; ГОСТ Р 56598-2015, пункт 3.6).

Городские свалки можно разделить на две основные категории. Во-первых, это самовольно создаваемые населением места накопления отходов и различного бытового мусора, т.е. **стихийные или неорганизованные свалки**. Их образование осуществляется на непредназначенных для этого участках. Еще в древние времена размещение на них отходов часто рассматривалось как противозаконное действие. По этой причине подобные объекты также обозначают как **нелегальные или несанкционированные свалки** (Рябов, 2013). Во-вторых, это **организованные свалки** на специально отводимых для этой цели участках. Нередки различные варианты их смешанного происхождения. Так, стихийно возникшая свалка со временем может получить официальный статус. В других случаях вывоз отходов в результате отсутствия должного контроля начинает осуществляться и на территории, прилегающей к отведенному для этой цели участку. В этом случае по прошествии времени может возникнуть **техногенное тело смешанного происхождения**, объединяющее в единый структурный элемент литосферы организованное техногенное тело (участок организованной свалки) и спонтанное техногенное тело (участок неорганизованной свалки)

В современном мире нелегальные свалки бытовых отходов представляют все большую опасность для окружающей среды (Теличенко, Галицкова, 2010). Несмотря на усилия в области экологического образования и воспитания они не исчезают. Скорее наблюдается рост объемов нелегальных скоплений бытовых отходов. Так, даже в Германии, стране, население которой в целом проявляет большое внимание к проблемам охраны окружающей среды, отмечено около 10 000 нелегальных свалок бытового мусора (Гальперин и др., 2006а). На территории России и многих других стран их, несомненно, значительно больше. Нелегальные свалки, как правило, формируются на участке свободном от застройки,

собственник которого не обеспечивает должный контроль за его состоянием. Подобные явления характерны для заброшенных пустырей, склонов оврагов и участков вокруг длительно существующих незавершенных объектов капитального строительства, так называемых *долгостроев* (Галицкова, 2008; 2009). Важным фактором является наличие дороги и тропы, проходящей через подобный участок или вдоль него. Триггером процесса образования нелегальной свалки является выброс первой порции мусора. Этому примеру начинает следовать определенная часть населения. По мере накопления массы свалочного тела это образование иногда приобретает черты официального статуса⁶⁴ и может существовать на протяжении многих лет.

Нелегальные городские свалки классифицируют по их объему на (малые – до 100 м³, средние – от 100 м³ до 1000 м³ и крупные – более 1000 м³ (Бальзанников и др., 2009; Теличенко, Галицкова, 2010). Таким образом, согласно определениям, данным в разделе 1.1, они по своим масштабам соответствуют размерам техногенных геологических тел, структур и блоков.

Во многих случаях из свалочного тела в подстилающие грунты и горные породы происходит *высачивание* содержащихся в нем жидких продуктов, что приводит к образованию сопряженных тел. При этом, если на свалках промышленных отходов загрязнение соприкасающихся участков среды происходит, как правило, химическими соединениями, из которых они состоят, то высачивания из свалок коммунально-бытовых отходов в основном состоят из продуктов их биологической трансформации (микробиологического разложения) (Трофимов и др., 2015). Их

⁶⁴ Например, нередко они в качестве нелегально возникших, но, тем не менее, реально существующих объектов, включаются в программы по благоустройству городской территории.

объем, образующийся в течение достаточно продолжительного периода времени, может быть весьма значителен.

Вывоз скопившейся массы ТКО и подстилающих грунтов, пропитанных жидкими продуктами ее разложения, становится все более затруднительным. По этой причине в конечном итоге подобные нелегальные свалки часто просто засыпают грунтом и проводят рекультивационные мероприятия. В результате возникает захороненное техногенное тело (или при относительно небольшом объеме – захороненная техногенная геологическая структура).

Отдельную проблему создает *эмиссия* газообразных веществ, также являющихся продуктом микробиологического разложения свалочного тела ТКО. Эти выделения включают широкий спектр химических соединений, в т.ч. и токсичных, которые в совокупности обозначаются понятием *свалочный газ*. Его основными компонентами являются метан и диоксид углерода.

Достаточно часто на определенном участке городской территории возникает группа свалочных тел. К ним можно отнести распространенные в России овражно-склоновые свалки (рис 5.1), формирующиеся в местах удобного похода (подъезда) к склону и наличию на них рельефа, обеспечивающего самопроизвольное скатывание сбрасываемых отходов. Подобные свалки, а впоследствии возникающие из них техногенные тела (структуры), во многих отношениях функционируют как единый объект⁶⁵. Следовательно, по классификации, представленной в разделе 1.4, их можно отнести к категории фрагментарных техногенных тел.

Растут и объемы организованных городских свалок. Основная причина этого – рост населения городов.

⁶⁵ Как правило, они играют роль единого фактора загрязнения водной и воздушной среды, формирования седиментационных вторичных техногенных тел и т.п. Их засыпка (захоронение, тафономирование) обычно производится одновременно в рамках одного мероприятия.

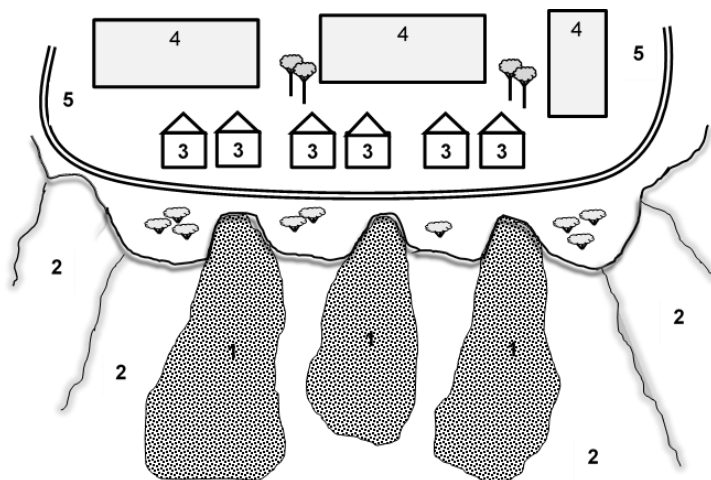


Рисунок 5.1. Образование овражно-склоновых свалок: 1 – свалочные тела; 2 – склоны; 3 – гаражная застройка; 4 – городская застройка; 5 – автомобильная дорога.

Подсчитано, что количество вывозимых на свалки отходов в расчете на 1 миллион городских жителей за год может образовать массив мощностью 2 м, занимающий площадь 40 га.

Только в Москве ежегодно вырабатывается свыше 2,5 млн тонн бытовых отходов, из которых 90% вывозится на свалки, расположенные на территории, окружающие мегаполис, что создает серьезные проблемы. Некоторые из них соприкасаются с районами жилой застройки, результатом чего является оправданное недовольство населения, в ряде случаев перерастающее в протестные действия. Птицы (вороны, чайки и др.) формирующие на городских свалках огромные стаи, создают угрозу для взлета и посадки самолетов. Подобная ситуация наблюдается не только в Москве, но и во многих других крупных городах Российской Федерации.

В последние десятилетия в окружающую среду ежегодно поступает до $400 \cdot 10^6$ тонн ТКО (Садчиков, 2017). Данный процесс

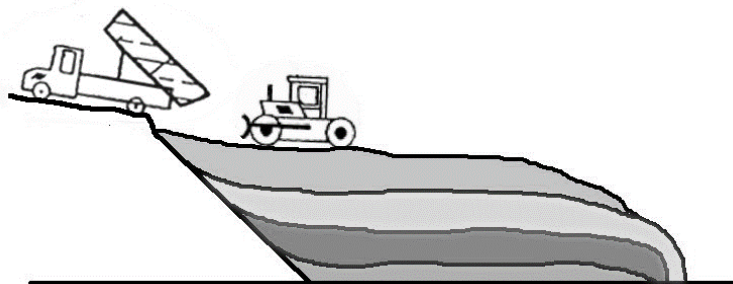
уже начал оказывать значимое влияние на естественные биогеохимические циклы, особенно на цикл углерода. Так, ежегодное количество органического углерода, выбрасываемого с ТКО в биосферу, составляет свыше $85 \cdot 10^6$ тонн, что более чем в два раза больше его массы, ассимилируемой организмами планеты.

Время существования многих крупных городских свалок, также как и горнопромышленных тел (см. раздел 3.1), можно разделить на активную и пассивную стадию. На первой из них объем свалочного тела постоянно возрастает за счет непрерывного подвоза отходов. Следовательно, по механизму образования их в этот период можно классифицировать как продуцируемые тела, а по характеру динамики – как пополняемые (см. раздел 1.4).

Для более компактного размещения ТКО, поступающих на крупные организованные свалки, материалы уплотняются с помощью технических средств (бульдозеров, скреперов и др.). Это позволяет увеличивать высоту образующегося свалочного тела и придавать ему определенную форму. В результате вместимость свалки увеличивается, как и возможности управления процессом ее формирования. Также как на горных отвалах, на таких свалочных телах нередко создаются уступы для предотвращения обрушения их склонов и прокладки временных транспортных путей для подвоза мусора. В ряде случаев целенаправленное придание свалочным телам определенной формы создает их определенную внутреннюю структуру. Так, в результате изменения характера ТКО, поступающих на полигон в отдельные периоды его активной фазы, в формируемых из них скоплениях может возникнуть стратификация или зональная гетерогенность (рис. 5.2). Данные особенности свалочного тела сохраняются и в структуре образующегося из него техногенного геологического тела.

На пассивной стадии вывоз материала прекращается. Характер дальнейшей трансформации свалки, как будет рассмотрено несколько позже, может носить различный характер.

А



Б



Рисунок 5.2. Формирование гетерогенно-стратифицированного (а) и гетерогенного-зонального (б) техногенного тела на крупной городской свалке.

В большинстве случаев, несмотря на различие в возможных сценариях развития событий, по прошествии длительного времени материал свалки формирует **историческое техногенное тело**. В научной литературе для обозначения подобных образований также используются термины **старые нагрузки** (Гальперин и др., 2006б) и **накопленный экологический ущерб** (Пинаев, Чернышев, 2017). В Законодательстве РФ заброшенные (захороненные, запечатанные) свалки могут рассматриваться как **объекты накопленного вреда окружающей среде** (Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.012002 г. №7-ФЗ, статья 1). Под понятием **накопленный вред окружающей среде**, согласно определению, данному в той же статье закона, подразумевается вред окружающей среде, возникший

в результате прошлой экономической и иной деятельности, обязанности по устранению которого не были выполнены либо были выполнены не в полном объеме.

Присутствие на городских свалках большого количества органических веществ, подверженных разложению, обуславливает характерные для них процессы биологической и физико-химической трансформации. Их жидкие продукты просачиваются в подстилающие грунты и загрязняют подземные воды. В результате под свалкой создаются условия для формирования сопряженного техногенного тела. Газообразные продукты разложения, прежде всего, так называемый свалочный газ, загрязняют воздушную среду. Их выделение сопровождается распространением на окружающей территории неприятных запахов. Кроме того, образование городских свалок способствует ухудшению санитарно-эпидемиологической обстановки. На них создаются благоприятные условия для массового развития ряда нежелательных организмов (крыс, ворон, мух и др.), некоторые из которых являются переносчиками инфекционных заболеваний. По этим причинам население городов, с одной стороны, испытывая настоятельную необходимость в существовании свалок, с другой стороны, прилагает усилия по их ликвидации вблизи мест своего проживания.

Данное противоречие порождает *типичный сценарий превращения свалки в техногенное геологическое тело*. В нем можно выделить следующие этапы:

1. **Накопление свалочного тела** или активная стадия (рис. 5.3а). Обычно происходит в форме образования по периметру городской территории **кольца свалок**, удаленных от жилой застройки на расстояние, позволяющее не видеть скопления разлагающихся отходов и не ощущать неприятных запахов. Совокупность таких свалок, хотя и нередко называется кольцом, в реальности

практически всегда состоит из комплекса изолированных друг от друга свалочных тел, часто занимающих различные неудобья (овраги, заболоченные участки, поймы рек и др.).

2. *Захоронение свалочного тела* (рис. 5.36). Расширение городской застройки закономерно приводит к соприкосновению ее границ с участками свалок. Проживание в таких условиях не может быть комфортным и, тем более, престижным. Это неминуемо влияет экономическую выгоду, получаемую при возведении зданий. Решение данной проблемы в большинстве случаев осуществляется путем закрытия свалки (запрещения вывоза на нее отходов) и рекультивации занимаемого ею участка. На техническом этапе рекультивации происходит засыпка свалочных тел песком или иным инертным материалом, выравнивание рельефа (вертикальная планировка территории) и размещение на поверхности плодородного слоя земли или почво-грунтов. На биологическом этапе рекультивации осуществляется озеленение территории. После ее благоустройства она нередко превращается в *резорт* – объект массового отдыха населения (Суздалева, Безносов, 2012). Примером может служить московский Парк Горького (ЦПКиО), на месте которого вплоть до 20-х годов XX века была обширная городская свалка.

3. *Запечатывание свалочного тела* (рис. 5.3в). Повышение экономической выгоды от уплотнения городской застройки и социальная востребованность возведения новых жилых зданий приводит к тому, что часть участков захороненных городских свалок застраивается. В том числе здания нередко возводятся и на озелененных участках города, под которыми находятся захороненные свалки. Особенно часто подобные территории отводятся под строительство новых зданий, когда они не имеют статуса организованных городских резортов, т.е. не отмечены в официальных документах, как парки, скверы или зоны отдыха.

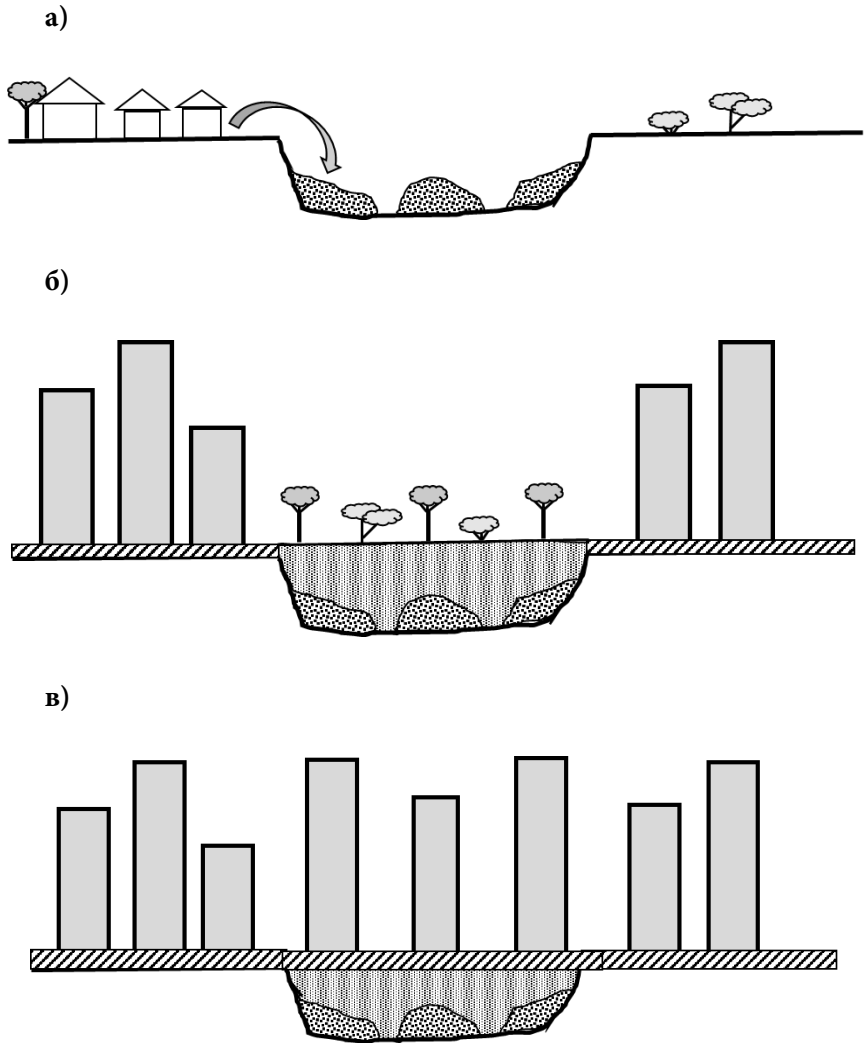


Рисунок 5.3. Сценарий образования из городской свалки подповерхностного и запечатанного техногенного тела

Асфальтобетонное покрытие этих участков переводит захороненные в них бывшие свалочные тела в категорию запечатанных техногенных геологических тел.

Образование запечатанных техногенных тел из массивов городских свалок может происходить без этапа их захоронения и последующего озеленения подобных участков. Территория свалки сразу превращается в стройплощадку. Данный случай весьма характерен для быстрорастущих мегаполисов. Вывоз и утилизация свалочных тел задерживает строительство и требует значительных финансовых затрат. Поэтому поверхность участков, занятых свалочными телами, перед возведением на ней зданий выравнивается и засыпается привозным грунтом. Именно так происходила застройка значительной части территории новых районов г. Москвы, начиная с 60-х годов XX века.

Во всех случаях образование запечатанного тела из городской свалки не приводит к остановке протекающих в нем процессов биологической и физико-химической трансформации, сопровождающихся образованием газообразных и жидких продуктов, обладающих высокой миграционной способностью (Федяев, Сурсо 2008; Мальцева и др., 2011). Эти процессы носят длительный характер. Так, в течение первых 30-50 лет после включения ТКО в состав свалочного тела в них минерализуется лишь около 30% содержащихся органических веществ (Вавилин, 2006). Разложение оставшейся части органики может занять несколько столетий, в течение которых из них будет наблюдаться эмиссия свалочного газа. Давно захороненные и запечатанные хозяйственно-бытовые тела также выделяют жидкие продукты своего распада, которые в течение практически столь же длительного периода загрязняют подземные воды. Так, в течение первых 30-50 лет после включения ТКО в состав свалочного тела в них минерализуется лишь около 30% содержащихся органических веществ (Вавилин, 2006). Разложение оставшейся части органики

может занять несколько столетий, в течение которых из них будет наблюдаться эмиссия свалочного газа. Давно захороненные и запечатанные хозяйственно-бытовые тела также выделяют жидкие продукты своего распада, которые в течение практически столь же длительного периода загрязняют подземные воды.

Газы и пары, высачивающиеся из погребенных под городской застройкой свалочных тел, сформировавшихся из бытовых отходов, могут формировать в толще грунта устойчивое газовое поле (Экологические функции..., 2004). После застройки территории над погребенными свалками эти вещества могут проникать в подвальные помещения зданий, а затем по системам внутренней вентиляции распространяться по всему их объему. Например, метан в экологически опасных и пожароопасных концентрациях (до 65,1 об. %) был обнаружен в подземных помещениях некоторых домов в 12 и 14 микрорайонах Марьинского парка в Москве. Газообразные свалочные высачивания могут включать такие опасные для здоровья вещества, как фенолы или пары ртути. Первые возникают при разложении материалов, включающих ароматические органические соединения. Пары же ртути, например, могут поступать из старых захоронений радиоламп и других видов оборудования, вышедшего из употребления. Подобные и иные высокотоксичные соединения достаточно часто являются компонентами городских свалок, активная фаза формирования которых приходилась на 30-60-е годы XX века (Федяев, Сурсо 2008).

Образование полигонов твердых коммунальных отходов (полигонов ТКО). С целью сократить площади, занимаемые свалками, и избежать негативных последствий захоронения городских отходов, новые объекты, предназначенные для этой цели, вблизи крупных населенных пунктов создаются в форме **полигонов ТКО**. Если городская свалка представляет собой участок земной поверхности, на котором легально или нелегально размещаются

скопления отходов, то полигон для их захоронения – это сооружение, обеспечивающее изоляцию окружающей среды от накапливаемых на нем материалов.

Формирование массивов отходов на полигонах ТКО осуществляется путем создания, так называемых, рабочих карт, обычно представляющих собой уплотненные отдельные слои мощностью приблизительно 2,0 м, имеющих ширину 5-10 м и длину 30-150 м (Гальперин и др., 2006а). Друг от друга они отделяются промежуточными изолирующими слоями грунта или инертного материала (рис. 5.4). Нижняя и боковые поверхности полигона имеют гидроизолирующее покрытие. По периметру основания полигон должен быть огражден лотками и каналами для сбора и отвода поверхностного стока.

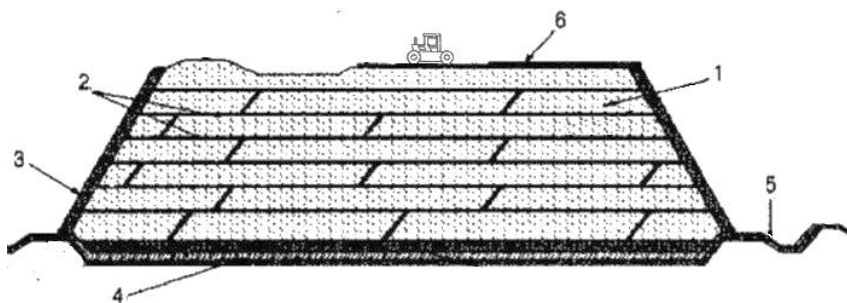


Рисунок 5.4. Схема высотного полигона ТКО: 1 – рабочая карта; 2 – промежуточные изолирующие слои; 3 – боковой внешний изолирующий слой; 4 – водонепроницаемое основание; 5 – лоток для сбора и отведения дождей и талых вод со склонов; 6 – временный подъездной путь с твердым покрытием

Конструкция полигонов некоторых ТКО также включает различные элементы, создаваемые для защиты воздушной среды от выделяющихся газообразных продуктов, пыли, запахов, патогенных микроорганизмов.

Укрепление откосов полигонов стенами позволяет накапливать в них отходы в виде образований, высотой в десятки метров. Так, расположенный в Московской области полигон «Саларьево», был закрыт при достижении проектной высоты 60 м (Мурашов, 2007). В среднем создание полигонов ТКО позволяет в 2-3 сократить площадь, отводимую под размещение отходов вокруг крупных городов (Гальперин и др., 2006а).

По окончанию активной фазы существования полигона ТКО (прекращения вывоза на него отходов) его территория подлежит рекультивации, которая обычно заключается в засыпке массива отходов слоем земли и созданием на нем зеленых насаждений. Применяются и более сложные технические способы вывода полигона ТКО из эксплуатации, призванные повысить уровень их экологической безопасности. Так, в странах Западной Европы образующийся после заполнения полигона массив отходов, достигающий иногда мощности (вертикальной протяженности) 30-50 м накрывается изолирующим материалом, образуя саркофаг, внутри которого процессы разложения ТКО будут происходить в течение столетий (Вавилин, 2006). Данный метод можно рассматривать как пример тафономирования отходов. Вместе с тем, прогнозировать как будет отслеживаться сохранение герметичности подобного сооружения в течение столь длительного периода прогнозировать нельзя, как и невозможно предвидеть историческое развитие политической, социально-экономической и демографической ситуации этих стран. Поэтому существует риск превращения подобных саркофагов в экологические мины замедленного действия. Разрушение их защитных оболочек вызовет выброс в окружающую среду значительных количеств вредных газообразных и жидких продуктов многолетнего разложения отходов, а оставшаяся часть их массы сохранится как техногенное геологическое тело.

Существует **несколько основных типов полигонов ТКО:**

1. **Заглубленные** (рис. 5.5, I), у которых накапливаемая масса отходов находится ниже поверхности земли. Они создаются в естественных котловинах (оврагах, балках) или искусственно созданных понижениях (котлованах, отработанных карьерах). После заполнения и рекультивации они превращаются в подповерхностные техногенные геологические тела, образование которых способствует выравниванию рельефа.

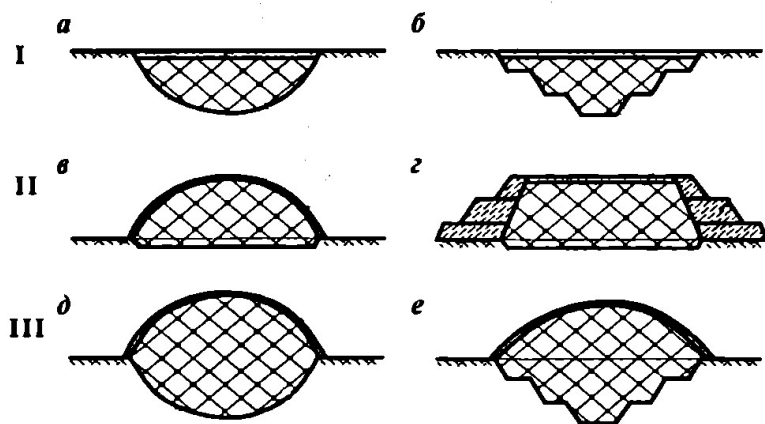


Рисунок 5.5. Различные формы полигонов ТКО (по Гальперин и др., 2006а)

2. **Поверхностные** (рис. 5.5, II), расположенные над поверхностью земли. После рекультивации они также превращаются в подповерхностные техногенные геологические тела, но формирующие искусственные возвышенности.

3. **Комбинированные** (рис. 5.5, III), на которых вначале отходы размещаются в естественной впадине или искусственной выемке, а затем, по мере накопления, начинают образовывать скопления, в виде техногенной возвышенности.

5.3 ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ИЗ СВАЛОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ПОЛИГОНОВ ЗАХОРОНЕНИЯ ОПАСНЫХ ОТХОДОВ

Современные свалки промышленных отходов чаще формируются на легальной основе. Их можно разделить на три основные категории. К первой относятся свалки отходов, образующиеся в результате деятельности одного производственного предприятия и нередко расположенные вблизи него. Их можно обозначить как **объектовые промышленные свалки**. Примером могут служить золоотвалы тепловых электростанций. Материал объектовых свалок на различных предприятиях одной отрасли относительно однороден. Процессы его трансформации, как и воздействие на окружающую среду, в большинстве случаев также носят сходный характер.

Ко второй категории относятся промышленные свалки, на которых вывозятся и совместно захораниваются отходы с различных предприятий. Их можно обозначить как **смешанные промышленные свалки**. По структуре свалочного тела они могут быть **равномерно-гетерогенными** или **гетерогенными агрегированными** (см. разд. 1.4).

Третья категория, которую можно обозначить как **сегрегированные промышленные свалки**, включает объекты, на которых отходы различного рода размещаются на отдельных участках (зонах). Поэтому образующиеся на их основе техногенные тела являются **гетерогенно-зональными**.

По завершении активной стадии многие промышленные свалки захораниваются, превращаясь в подповерхностные техногенные геологические тела. Кроме того, несмотря на меры, предпринимаемые по гидроизоляции свалочных тел, существование многих промышленных свалок, также как и свалок ТКО (ТБО), сопровождается интенсивным загрязнением подземных вод и,

следовательно, химической трансформацией подстилающих горных пород, которая приводит к образованию из них сопряженных техногенных геологических тел. Отличие заключается в том, что основными агентами загрязнения подземных вод под свалками ТКО являются органические вещества, а под производственными свалками их спектр значительно более разнообразен. В частности, это тяжелые металлы, содержание которых в подземных водах в районах подобных объектов может превышать допустимый уровень в десятки раз (Елохина, Елохин, 2015).

Для изоляции опасных производственных отходов создаются специальные сооружения – **полигоны промышленных отходов**. На некоторых из них поступающие материалы хранятся только определенный срок (**магазинирование отходов**), после чего утилизируются. Другие подлежат окончательному захоронению – **тафономированию**. В первом случае могут возникнуть лишь сопряженные техногенные тела, образование которых обусловлено утечками жидких компонентов отходов в период их временного хранения на данном участке земной поверхности. Во втором случае, как правило, на месте полигонов формируются подповерхностные промышленные техногенные геологические тела.

Сооружения, предназначенные для бессрочной изоляции опасных отходов, не подлежащих использованию (утилизации), обозначаются термином **могильники отходов**. В большинстве случаев они размещаются в толще земной коры, но могут сооружаться и на ее поверхности или частично заглубляться. Практически всегда сооружение могильников сопровождается образованием глубинных, подповерхностных и поверхностных техногенных геологических тел. Наиболее распространены могильники опасных радиоактивных отходов, размещаемые в земных недрах (Falck, Nilsson, 2009; Кочкин, 2012). Их разновидностью могут считаться пункты захоронения

радиоактивных отходов (ПЗРО), описанные в разделе 2.5.2. Для обеспечения большей безопасности тафономируемые радиоактивные вещества включаются в состав искусственно создаваемых образований, устойчивых к механическому и физико-химическому разрушению. Примером может являться остекловывание (витрификация) радиоактивных отходов, т.е. технология их фиксации путем сплавления с нерастворимой химически инертной стеклоподобной матрицей (Wicks, Bickford, 1989; Лебедев, Стефановский, 2011; Богатов, 2018; Сорокин и др., 2020). Эти химически инертные образования помещаются в специальные контейнеры, обеспечивающие их еще более полную изоляцию. При проектировании могильников также учитываются и изоляционные свойства вмещающего их участка земной коры, а также его стабильность (Мельников и др., 2006). Особое внимание уделяется вопросу его техногенной трансформации при проведении работ по созданию самих подземных сооружений. После заполнения всех емкостей, предназначенных для хранения опасных материалов, ПЗРО можно рассматривать как законсервированные техногенные тела.

Вместе с тем, высказываются опасения, что все эти меры могут не обеспечить безопасности захоронений радиоактивных отходов при возникновении так называемых импактных событий, способных привести к разрушению значительных участков земной коры (Шестоपालов и др., 2012). Например, это падения на Землю крупных метеоритов. Остатки возникших при этом обширных кратеров (астроблемы) сохранились практически на всех континентах. Несмотря на то, что подобные события происходят относительно редко, при оценке риска повреждения могильников опасных радиоактивных отходов следует учитывать, что период, по прошествии которого они в результате самопроизвольного распада становятся безопасными, составляет несколько сотен тысяч лет (IAEA-TR, 2003; Мальковский и др., 2013). Вероятность даже весьма

редких импактных событий за столь продолжительное время достаточно велика. Несомненно, что пытаться контролировать условия существования человеческой цивилизации на столь продолжительную перспективу бессмысленно, но все же учитывать риск разрушения могильников при явлениях, выходящих за рамки обыденных условий, вероятно, стоит. Подобные рекомендации уже содержатся в документах международных организаций, занимающихся проблемами захоронения радиоактивных отходов (Features ..., 2000).

Следует также обратить внимание на опасность сооружения могильников с ограниченным сроком хранения, например 100 лет. К ним можно отнести создание полупогруженных и поверхностных могильников в зонах многолетней мерзлоты (криолитозоне) – путем замораживания вод, содержащих радиоактивные загрязнители (Киселев и др., 2004; 2010; Хохолов, 2017). Целью их сооружения является оперативное решение весьма актуальной проблемы, которая обусловлена угрозой масштабного радиоактивного загрязнения территории в результате поступления содержащих радионуклиды вод из ядерновзрывного глубинного тела (см. раздел 4.4.). Сущность данного метода заключается в том, что загрязненные подземные воды замораживаются по мере их поступления к поверхности. В качестве изоляционных барьеров используются искусственно создаваемые слои льда и слои грунта, цементированные льдом (рис 5.6). Сохранность сооружаемого ледового могильника обеспечивается постоянно низкой температурой поверхностного слоя земной коры в криолитозоне. Подобный способ захоронения радиоактивных отходов рассматривался и в отношении АЭС, возводимых в зоне многолетней мерзлоты, а также для захоронения отходов ядерных установок Северного флота (Ершов и др., 1995). В краткосрочной перспективе использование данного метода дает возможность относительно простого решения этих задач.

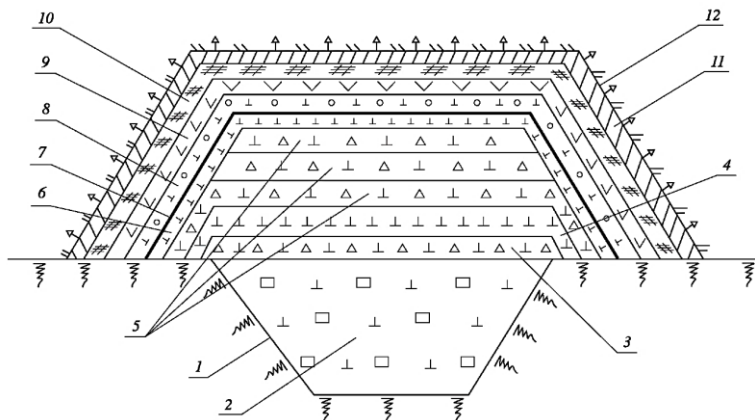


Рисунок 5.6. Схема защитного саркофага полууглубленных могильников радиоактивных отходов в криолитозоне: 1 – подземный контур полууглубленного могильника; 2 – замороженные во льду радиоактивные загрязнители; 3 – грунтовая насыпь над могильником, цементированная льдом (замерзшей водой); 4 – 1-й защитный ледяной барьер (панцирь); 5 – слой грунта, цементированного льдом; 6 – 2-й защитный ледяной барьер (панцирь); 7 – гидроизоляционный экран из полиэтиленовой пленки; 8 – защитный слой из цементированного льдом песка; 9 – теплоизоляционный слой из местных материалов; 10 – слой грунта; 11 – почвенный слой; 12 – кустарник, многолетние травы (по Киселев и др., 2010)

Вместе с тем, в условиях происходящих глобальных климатических изменений, безопасность создания подобных сооружений вызывает сомнения, как и целесообразность ограниченного по времени хранения радиоактивных материалов. Результатом реализации данного проекта является накопление большой массы радиоактивных загрязнителей в форме поверхностного технокриогенного тела, подверженного риску быстрой деградации при таянии входящих в его состав пластов льда и цементированного льдом грунта. В недалеком будущем это может

создать неизмеримо большую опасность, чем постепенное высачивание подземных вод, загрязненных радионуклидами. Возникнет необходимость выработки незамедлительных решений по одновременной дезактивации или изоляции огромных объемов загрязненной воды. Предотвратить деградацию созданных таким образом радиоактивно-опасных технокриогенных тел при потеплении климата затруднительно, поскольку как одно из достоинств технологии их создания указывается отказ от использования холодильных машин (Киселев, Бурцев, 1999).

Отдельный вид скоплений производственных отходов – это жидкие побочные продукты производства, накапливающиеся в понижениях рельефа. Некоторые из них существуют десятки лет и могут рассматриваться как жидкие поверхностные техногенные геологические тела. Часть содержащихся в них веществ обычно фильтруется в подстилающие грунты и горные породы, вызывая их химическую трансформацию, а также интенсификацию различных экзогенных процессов (суффозию, разуплотнение и др.). Таким образом, происходит формирование сопряженных техногенных геологических тел. С поверхности крупномасштабных скоплений жидких отходов может испаряться значительное количество токсичных соединений, оказывающих негативное воздействие на биологические объекты (в т.ч. и на человека) на значительном расстоянии от них.

Примерами крупномасштабных скоплений жидких производственных отходов могут служить располагавшиеся поблизости от г. Дзержинска Нижегородской области объекты «Черная дыра» и «Белое море». Первый из них – это карстовая воронка, заполнявшаяся в течение 50 лет отходами завода «Оргстекло», стекавшими сюда по трубам. По предварительным оценкам в «Черной дыре» было накоплено 72 тыс. тонн токсичных веществ. «Белое море» возникло из стоков предприятия «Капролактам», производившего хлор и каустик (едкие щелочи).

На современном этапе, когда опасность образования подобных открытых скоплений жидких отходов уже в полной мере осознана обществом, их формирование почти повсеместно прекратилось. Но некоторые из них, возникшие в предшествующий период, продолжают существовать. Они должны рассматриваться как объекты накопленного экологического вреда и подлежать ликвидации. Но такие мероприятия требуют огромных финансовых затрат, что задерживает их реализацию. Например, эти работы на упомянутых выше объектах «Черная дыра» и «Белое море» были начаты летом 2018 г. Вместе с тем, ликвидация скоплений жидких производственных отходов, даже сопровождающаяся вывозом на утилизацию отложений, образовавшихся под ними, как правило, уже не может предотвратить техногенной трансформации участка земной коры, подвергнувшегося их воздействию, и восстановить его естественное состояние. Иными словами, образовавшиеся на таких участках техногенные геологические тела и формации остаются и после ликвидации скоплений жидких отходов.

5.4. ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА, ФОРМИРУЮЩИЕСЯ ИЗ ОТХОДОВ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Целесообразность выделения техногенных тел, которые можно обозначить как *градостроительные*, в отдельную категорию обуславливается двумя причинами. Во-первых, большая часть материалов, из которых они формируются, по своим свойствам принципиально отличается как от бытовых, так и от производственных отходов. В основной массе они значительно более инертны, т.е. в меньшей степени подвержены трансформации, сопровождающейся выделением в окружающую среду вредных газообразных и жидких продуктов. Как правило, техногенные геологические тела, образующиеся из их скоплений, можно отнести к категории стабильных. Во-вторых, благодаря своей инертности,

отходы градостроительной деятельности, в отличие от других видов отходов, нередко используются для изменения рельефа земной поверхности. Примерами может служить использование градостроительных отходов для засыпки оврагов, карьеров и котлованов, выравнивания и повышения уровня строительных площадок (вертикальной планировки территории), сооружения дорожных и иных насыпей, отсыпки искусственных земельных участков и остовов в акваториях водных объектов (Суздалева, 2020а). Таким образом, образующиеся из градостроительных отходов техногенные геологические тела во многих случаях представляют собой не побочные продукты деятельности, а приобретают черты сооружений. Вместе с тем, это отходы, и их накопление на определенном участке можно рассматривать как образование специфического свалочного тела. Кроме того, градостроительные отходы могут вывозиться на городские свалки и полигоны твердых бытовых отходов, формируя совместно с другими видами отходов часть их тел. Существуют и несанкционированные свалки градостроительных отходов.

Общий объем тафономируемых отходов градостроительной деятельности неуклонно возрастает в соответствии с расширением процесса урбанизации поверхности планеты. Маловероятно, что внедрение новых технологий в обозримой перспективе способно изменить данную тенденцию. Напротив, можно ожидать, что по своим масштабам образование градостроительных техногенных геологических тел станет сравнимо с формированием горнопромышленных тел и, возможно, превзойдет его.

В 2015 г. в мире ежегодно образовывалось более 1 млрд. тонн отходов градостроительной деятельности (Wahi et al., 2016). По оценкам международной организации «Transparency Market Research» к 2025 г. их объем удвоится и достигнет 2,2. млрд. тонн в год.

Основную массу градостроительных отходов составляют так называемые *отходы строительства и сноса* (construction and demolition waste (C&D)). Данный термин широко используется специалистами различных стран (Lu et al., 2011; Calvo et al., 2014; Tam, Lu, 2016; Gálvez-Martos et al., 2018). В российской нормативной базе его определение приводится в ГОСТ Р 57678-2017 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Ликвидация строительных отходов», пункт 3.3: «отходы от сноса, разборки, реконструкции, ремонта или строительства зданий, сооружений, инженерных коммуникаций и промышленных объектов, объединенные в единую группу».

Состав этих отходов, с одной стороны, достаточно разнообразен, с другой стороны, в большинстве случаев состоит из аналогичного набора материалов, что открывает возможность для унификации процессов их переработки и утилизации. Значительная часть специалистов в качестве основного компонента строительных отходов рассматривает лом, а также фрагменты бетонных и железобетонных конструкций (Олейник, 2006; Алексанин, Сборщиков, 2013). Вместе с тем, существуют и иные точки зрения. Так, градостроительная деятельность нередко сопровождается изъятием значительного количества грунта, а в некоторых случаях и залегающих под ним горных пород. Например, это происходит при рытье котлованов для размещения различных подземных сооружений. Эти материалы, как правило, требуют вывоза за пределы стройплощадок и могут рассматриваться как один из видов отходов градостроительной деятельности. Иногда продукты землеройных работ составляют их основную массу. Например, доля грунта в составе вывозимых отходов при строительстве зданий и сооружений Санкт-Петербурга в 2012 г. достигала 88%, во много раз превосходя долю бетонных и железобетонных отходов, которая, хотя и занимала по количеству второе место, составляла всего 4% (Скочихина, 2015).

Помимо вывозимого грунта и бетона (железобетона) в большинстве случаев в составе отходов строительства и сноса в значительных количествах присутствуют кирпич, асфальтобетон, стекло, керамика, древесина, мусор строительный (Huang et al., 2002; Lau et al., 2008; Merino et al., 2010; Lu, Yuan, 2010). По Федеральному классификационному каталогу отходов (ФККО) практически все они относятся IV-V классам опасности (согласно ГОСТ Р 53691-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Паспорт отхода I-IV класса опасности. Основные требования» пункт 3.7: IV класс – малоопасные отходы; V класс – практически неопасные отходы) (Галицкова, Михасек, 2015; Скочихина, 2015). По этой причине экологические риски создания их масштабных скоплений, с последующим формированием из этих материалов техногенных геологических тел, сравнительно невелики.

Диапазон фракционного состава строительных отходов весьма значителен – от фрагментов железобетонных конструкций, размером несколько метров, до мелкодисперсных фракций грунта и строительного мусора с частицами микроскопических размеров. Их использование в качестве материала для создания различных техногенных тел может осуществляться как непосредственно, так и после различных видов предварительной обработки (Олейник, 2006; Balzannikov, Mikhasek, 2014). Наиболее часто она включает дробление крупных фрагментов, а также грубую сортировку, осуществляемую с целью изъятия материалов определенных видов (остатков металлических и деревянных конструкций, рубероида и др.).

5.5. ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ

Золошлаковые отходы (золошлаковый материал) представляет собой смесь негорючих веществ, которые остались после сгорания топлива, включающая некоторое количество недожога

(несгоревшего топлива). **Шлаком** считаются частицы размером более 0,25 мм. Более мелкая фракция обозначается как **зола** (Рекомендации ..., 1986).

Основная масса золошлаковых отходов образуется при сгорании каменного угля на тепловых электростанциях (ТЭС). Сходство состава этих отходов, образующихся на различных объектах теплоэнергетики, позволяет рассматривать их как один и тот же вид так называемых техногенно-пирогенных (магматогенных) горных пород (Глаголев, 2008; Язиков и др., 2011).

В значительно меньших количествах золошлаковые отходы возникают при работе автономных отопительных систем (котельных), использующих уголь. В некоторых случаях их скопления, оставшиеся бесхозными, образуют поверхностные или подповерхностные (при захоронении) техногенные геологические структуры. Золошлаковые отходы могут возникать и при использовании других видов твердого топлива (горючих сланцев, торфа, дров), и мазута. Скопления (отвалы) **шлаков** также образуются на предприятиях металлургии.

Выделение скоплений золошлаковых отходов в отдельную разновидность техногенных тел обусловлено спецификой характера их образования и размещения. Во многих случаях большой объем образующихся золошлаковых отходов делает проблематичным их вывоз и хранение (захоронение) на свалках и полигонах. Поэтому они нередко скапливаются вблизи ТЭС в объемах, сравнимых с отвалами горнопромышленных предприятий, и обозначаются как золошлаковые отвалы. Но, в отличие от горных отвалов, их состав относительно однороден. Например, в них отсутствуют участки, вскрышных и пустых пород. Это открывает широкие возможности для использования золошлаковых отходов в различных сферах деятельности (изготовления дорожных покрытий, производства строительных материалов и др.) (Хмелёва

и др., 2018). Использование золошлаковых отходов для формирования грунтов при вертикальной планировке урбанизированных территорий позволяет в совокупности с подстилающими почвами и почвогрунтами рассматривать их как *хемоземы* (Черенцова, 2014).

Вместе с тем, утилизация золошлаковых отходов в России развита относительно слабо – 10-17% от общего объема ежегодного образующейся массы (Ежова и др., 2010; Мальчик, Литовкин, 2015). Для сравнения: в Германии используется почти 100%⁶⁶, в Индии более 50%, в Финляндии и Великобритании более 60%, в США – не менее 25%. Низкий уровень утилизации отечественных золошлаковых отходов во многом обусловлен недостаточной окупаемостью затрат и трудностями при получении разрешительной документации на осуществление подобной деятельности. Химический состав отходов на разных ТЭС может иметь существенные отличия в зависимости от угольного месторождения, поставляющего им сырье. В некоторых случаях содержание в золошлаковых отходах тяжелых металлов или радионуклидов превышает нормы, установленные для использования материалов в качестве вторичного сырья. Поэтому на практике решение проблемы утилизации отходов осложняется вследствие возможной смены поставщиков угля. Переход на использование углей из другого месторождения каждый раз требует разработки нового обоснования возможности использования отходов, получаемых при их сжигании.

Трудности утилизации золошлаковых отходов являются основной причиной формирования из них масштабных техногенных геологических тел в форме отвалов и терриконов. В настоящее время в России на угле работает свыше 100 ТЭС. Масса сформировавшихся вокруг них отвалов к началу XXI века уже

⁶⁶ Их значительная часть используется для засыпки оврагов.

составляла около 1,5-2,0 млрд. тонн (Цельковский, 2000; Ежова и др., 2010). Они занимают площадь более 200 км². Ежегодно объем этих техногенных тел увеличивается на 25-50 млн. тонн.

В зависимости от способа транспортировки отходов на участки их хранения различают две основные категории золошлаковых отвалов – **намывные золошлакоотвалы** и **насыпные золошлакоотвалы** (Рекомендации ..., 1986). Гидронамыв в современной России при формировании отвалов значительно более распространен. При использовании данного метода содержащиеся в пульпе частицы твердого вещества, в зависимости от своего размера (массы), могут отлагаться на различных участках. В результате возникают: **шлаковая зона намывного золошлакоотвала**, т.е. зона отложения шлаковых частиц при почти полном отсутствии зольных; **золошлаковая зона намывного золошлакоотвала** – зона отложения смеси шлаковых и зольных частиц и **зольная зона** – зона отложения зольных частиц. В совокупности они могут рассматриваться как единое гетерогенно-зональное тело. В других случаях золошлакоотвал формируется как гетерогенно-стратифицированное тело. Например, на первом этапе его создания намыв отходов происходит в пределах так называемой первичной ограждающей дамбы, ограничивающей растекание пульпы (рис. 5.7).

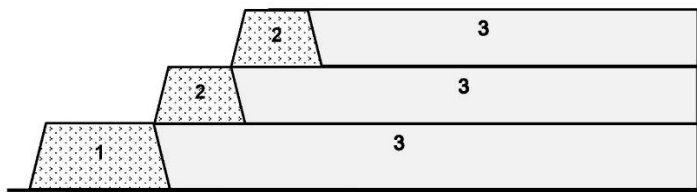


Рисунок 5.7. Структура намывного золошлакоотвала: 1 – первичная ограждающая дамба; 2 – дамбы наращивания; 3 – напластования золошлаковых отходов

После заполнения этого пространства, последовательно сооружается ряд дамб наращивания, обеспечивающих возможность гидронамыва новых слоев золошлаковых отходов.

Существуют золошлакоотвалы, имеющие более сложную структуру, включающие как стратифицированные участки, так и зоны, состоящие из отдельных фракций. Кроме того, сооружение намывных золошлакоотвалов предполагает организацию их дренажа и системы водоотведения.

Характерными чертами золошлаковых отходов являются мобильность слагающих их материалов, высокое содержание тяжелых металлов (Pb, Zn, As, Cd, Ni, Cu и др.), а также радионуклидов (например, ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra)⁶⁷. В совокупности эти свойства делают их экологически опасными и нередко обуславливают изменение химического состава окружающей среды, а также ее радиоактивное загрязнение (Носков и др., 1990; Черенцова, 2012; Черенцова, Олесик, 2013; Мальчик, Литовкин, 2015). Обладая низкой связностью материал золошлаковых отвалов подвержен интенсивной ветровой и водной эрозии (Черенцова и др., 2013). Их интенсивная дефляция, в результате которой в атмосферу поступает большое количество аэрозолей, часто принимает характер *пыления*. В результате этого процесса частицы золы, включающие тяжелые металлы и радионуклиды, распространяются в воздушной среде. Размыв золошлаковых отвалов дождевыми и тальми водами приводит к попаданию этих компонентов в поверхностные водные объекты с последующим их накоплением в донных отложениях (Черенцова, 2015; Бочаров и др., 2005). Тяжелые металлы и радионуклиды проникают из отвалов и в подземные воды, изменяя физико-химические свойства

⁶⁷Состав и содержание этих компонентов золошлаковых отходов значительно варьирует в зависимости от особенностей сжигаемого топлива (угольного месторождения).

подстилающих грунтов и горных пород. Таким образом, под ними формируются сопряженные техногенные геологические тела, не исчезающие после ликвидации породивших их скоплений отходов. Кроме того, в результате интенсивной дефляции и водной эрозии золошлаковых отвалов вокруг них в земной коре образуется зона техногенного влияния, масштабы которой иногда позволяют рассматривать ее как техногенную геохимическую аномалию.

Масштабность и геоэкологическая значимость развития подобных процессов стала причиной создания в 1999 г. международной организации «Всемирная сеть по побочным продуктам сжигания угля (World Wide Coal Combustion Products Network (WWCCPN))». Помимо России членами WWCCPN являются США, Канада, Великобритания, Австралия, Япония, и ряд других стран.

Золошлаковым отвалам свойственны все виды опасных экзодинамических процессов (обвалы, оползни, образование селей при прорывах ограждающих дамб и др.), которые наблюдаются на отвалах горнопромышленных предприятий. При этом низкая связность золошлаковых отходов обуславливает более высокий риск возникновения подобных явлений и более высокую скорость их развития.

ГЛАВА VI. ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА, ВОЗНИКАЮЩИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

6.1. ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ И ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ

В данной главе монографии рассматривается широкий спектр техногенных тел, большинство из которых принципиально отличается по своему генезису, структуре и свойствам. Отдельные

разделы посвящены урбанизационным, селитебным, агропромышленным, геологическим телам, а также дефростационным телам и техногенным криопэгам. Столь различные виды техногенных тел объединяет одна общая особенность. Они возникают, главным образом, в результате трансформации самых верхних слоев литосферы. Для обозначения большинства из них их применим термин **техногенные поверхностные образования (ТПО)**⁶⁸ (Ковалева и др., 2012). Деятельность, приводящая к образованию рассматриваемых в настоящей главе тел весьма разнообразна. В одних случаях это результат целенаправленных усилий по приспособлению земной поверхности для существования компактных человеческих поселений. В других случаях, формирование данных категорий техногенных тел происходит как неконтролируемая трансформация состава и структуры приповерхностного слоя литосферы, путем внедрения в него различных техногенных компонентов (бытового, строительного и промышленного мусора, технических жидкостей и т.п.). При развитии существующих тенденций именно эти формы техногенеза литосферы в совокупности, вероятно, будут иметь приоритетную значимость как фактор формирования среды обитания человека и других живых организмов. Уже в настоящее время некоторые из них (например, расширения зоны урбанизации и сельскохозяйственного освоения) во многом определяют характер топического аспекта георесурсной экологической функции литосферы (см. разд. 2.3.3).

Урбанизационные геологические тела представляют собой обширную категорию техногенных образований, различающихся по

⁶⁸ Исключением являются техногенные тела, возникающие в результате снятия грунтов и обнажения лежащих под ними слоев горных пород, которые впоследствии подвергаются трансформации вод воздействием различных техногенных факторов и гипергенеза. Их примером могут служить скальпированные техноземы (см. разд. 6.2).

механизму образования, своей структуре и составу. По этой причине описание их наиболее распространенных разновидностей приводится в нескольких отдельных разделах (6.2-6.6). Под **урбанизацией**⁶⁹ в монографии понимается расширение площади городских территорий и промышленных зон, т.е. участков земной поверхности, подвергшихся глубокой трансформации с целью обеспечения компактного проживания больших масс людей и их крупномасштабной совместной деятельности. Подобная трактовка позволяет оценить роль данного процесса как фактора глобального техногенеза земной коры. Принимая это определение, **урбанизированной территорией** можно считать не только обширные участки жилой застройки городского типа, но также участки размещения производственных предприятий (промышленные зоны) и инфраструктуры, необходимой для обеспечения нормальной жизнедеятельности. Все объекты (жилые, производственные, транспортно-коммуникационные, инфраструктурные и рекреационные), расположенные в пределах таких территорий, функционально взаимосвязаны и в совокупности с сохранившимися элементами природной среды образуют единое системное целое – **урбосистему** (Экологический ..., 1999).

На современном этапе темпы урбанизации постоянно возрастают (De Mulder, Pereira, 2009). В среднем уже более 60% населения Земли живет в городах (Апарин, Сухачева, 2015; Аксенова

⁶⁹ Приводимое определение не соответствует общепринятому, согласно которому урбанизация – это процесс повышения роли городов, городской культуры и «городских отношений» в развитии общества, увеличение численности городского населения по сравнению с сельским (Лаппо, 1997; 2012). Но эти, несомненно, важные социальные явления не оказывают непосредственного влияния на процесс техногенеза литосферы. Поэтому в основу используемой в монографии трактовки явления урбанизации подложены другие его аспекты, более важные с точки зрения рассматриваемых вопросов.

и др., 2019). В странах Северной и Западной Европы данный показатель превышает 80%, а в России – приближается к 70%. При этом в последние 20 лет площадь городов на нашей планете увеличивалась почти в 2 раза быстрее, чем численность их населения. Сейчас она составляет примерно 60 млн га (Апарин, Сухачева, 2013). Суммарная площадь российских городов оценивается в 4,3 млн га.

Наблюдается тенденция слияния крупных городов по мере расширения их территорий. В результате возникают так называемые *мегалополисы*. Впервые это понятие было использовано в середине XX века Ж. Готтменом (Gottmann, 1957) для описания системы городских поселений, расположенных на северо-восточном побережье США, функционирующих как единая урбосистема. В качестве крайних участков этого мегалополиса первоначально рассматривались территории городов Бостон и Вашингтон, по причине чего он получил название Босваш (Boswash). Его длина составляет 800 км, а ширина 100-150 км (Комарова, 2015). Мегалополис Босваш занимает всего 1,5% территории США, но в нем проживает около 19% населения страны и сосредоточено 25% промышленных предприятий. Существуют и другие мегалополисы. Так, на тихоокеанском побережье Японии в результате слияния городов Токио, Иокогама, Киото, Нагоя, Осака и Кобе возник мегалополис Токайдо (Токайдо) с населением 60 млн. человек, что составляет приблизительно половину общего населения страны (рис. 6.1). Некоторые исследователи рассматривают в качестве мегалополиса Москву, в состав которой в последние годы был включен ряд ранее самостоятельных городских поселений (Антонов, Махрова, 2019). Аналогичные тенденции наблюдаются и в других странах.



Рисунок 6.1. Территория мегалополиса Токайдо (выделена темным цветом)

Подавляющая часть участков Земной коры на территориях мегалополисов подвергается глубокому техногенезу. Подсчитать количество техногенных геологических тел, возникающих в ходе этого процесса, как техногенных геологических формаций, образующихся вследствие их функциональной и геоморфологической агрегации, затруднительно. Вне сомнения, оно составляет многие тысячи, а в целом поверхность литосферы, занятая мегалополисами, представляет собой техногенную геологическую провинцию. Причем ее размеры обычно имеют

хорошо выраженную тенденцию к расширению. В ряде случаев, примером которых может служить мегалополис Токайдо, это происходит, в том числе и за счет возведения искусственных земельных участков на месте прибрежных морских акваторий.

Расширение урбанизированных территорий, обусловленное непрерывающимся ростом городского населения, неизбежно вызывает техногенную трансформацию обширных участков земной коры и ее рельефа. С целью изучения этих явлений возникла специальная научная дисциплина – *урбанистическая геология* (Леггет, 1976; Karrow, White, 1998; Culshaw, Price, 2010; Осипов и др., 2017).

При описании трансформированных поверхностных и подповерхностных слоев литосферы городских территорий некоторые исследователи используют термины «подземный рельеф» и «субрельеф», рассматривая в качестве одного из его элементов различные искусственные полости (Болысов, Неходцев, 2016; Болысов и др., 2017). Например, это подземные выработки (катакомбы), возникшие при добыче строительного камня в предшествующие исторические периоды, и заключенные в подземные коллектора городские реки. Общий объем таких образований, размещенных под городской территорией, может быть весьма значителен. Так, суммарная протяженность только исследованной к настоящему времени части парижских катакомб составляет более 300 км.

На современном этапе процесс урбанизации сопровождается не только постоянным расширением общей площади и объема зон техногенной трансформации, изменяется и характер воздействия на литосферу. Так, при возведении объектов капитального строительства наблюдается тенденция все большего заглубления их оснований и фундаментов, а также увеличения объемов и этажности подземных помещений. В городах все большее развитие получает сеть подземных транспортных коммуникаций, энергетических,

водопроводных и канализационных систем. Это приводит к принципиальному изменению геологической и гидрогеологической структуры верхних слоев земной коры, стимулирует развитие опасных экзогенных процессов, например, суффозии, приводящей в некоторых случаях к образованию провалов и разрушению городских зданий (Хоменко и др., 2010). Возникают и принципиально новые аспекты техногенеза литосферы. Например, происходит постоянное увеличение количества тепловой энергии, рассеиваемой в геологической среде городов различными техногенными объектами. Подобное искусственное повышение подземной температуры может сопровождаться рядом нежелательных явлений и, по этой причине, рассматриваться как одна из форм теплового загрязнения (Суздалева, Левашова 2018). Значимые последствия может иметь и постоянное увеличение в геологической среде инженерно-технических систем, генерирующих электромагнитные поля. Насыщенность геологической среды различными сооружениями и коммуникациями показана схематично на рисунке 6.2.

Характерной чертой современного градостроительства также является перестройка центральных частей городов, нередко сопровождающаяся сменой функций, существовавших на них зданий и сооружений. Эта деятельность обозначаемая как **реновация** или **редевелопмент** (Alproia, Manole, 2013; Anis et al., 2020), включает не только замену обветшавших строений новыми, но и ликвидацию многих промышленных предприятий, перемещаемых на окраины. На освободившейся территории в городских центрах, как правило, возникает элитная застройка. Ее возведение сопровождается разрушением ранее существовавших техногенных тел и образованием на их месте других. Но нередко реновационная деятельность захватывает и более глубокие, ранее не подвергавшиеся техногенной трансформации, земные слои.



Рисунок 6.2. Схематичное изображение подземного пространства центра Москвы (рисунок А.В. Зотовой по Большов, Неходцев, 2016)

Таким образом, воздействие процесса урбанизации на литосферу происходит в двух формах. Во-первых, это разрушение естественной структуры земной коры по периферии городской территории при возведении новых районов, а также ее более глубоких горизонтов на ранее освоенных участках. В результате возникают *периферийная и глубинная зоны первичной техногенной трансформации*

(первичного техногенеза) земной коры, обусловленные градостроительной деятельностью (рис. 6.3). Во-вторых, это формирование зон **вторичной техногенной трансформации** (вторичного техногенеза) земной поверхности на ранее существовавшей городской территории. В данные зоны могут входить все ранее застроенные участки, включая и историческую застройку, сохранение наземного облика которой нередко требует проведения масштабных подземных работ (например, по укреплению фундаментов и оснований памятников архитектуры).

Приведенная на рисунке 6.3 схема отражает лишь общие тенденции урбанизационного техногенеза земной коры.

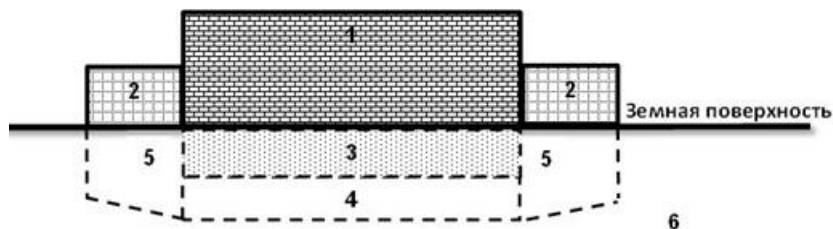


Рисунок 6.3. Зоны техногенной трансформации земной коры в современном городе: 1 – городская застройка; 2 – застраиваемая периферия города; 3 – зона вторичной техногенной трансформации; 4 – зона глубинной первичной техногенной трансформации; 5 – зона периферийной первичной техногенной трансформации; 6 – незатронутые техногенной трансформацией участки земной коры

Территории современных городов, как правило, носят не сплошной, а фрактальный характер, т.е. представлены некоей совокупностью урбанизированных участков (рис. 6.4). Благодаря развитию транспортных средств и повышению их доступности для населения вокруг их центральных частей (исторических или административных) в последние десятилетия стали возникать участки обособленной застройки (города-спутники, пригородные коттеджные зоны и пр.).

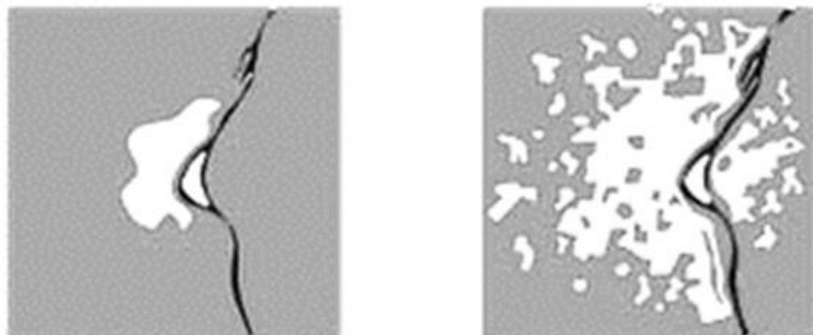


Рисунок 6.4. Типичные схемы границ крупного города XIX в. и характера его современной территории (по Солодянкина, Левашёва, 2013)

По этой причине в настоящее время зоны периферийной первичной техногенной трансформации обычно не формируются в виде сплошной полосы, опоясывающей город.

Еще более сложный характер носит распределение зон техногенной трансформации земной коры при образовании мегалополисов. На начальных этапах их формирования, когда функционально входящие в них городские поселения тесно взаимосвязаны⁷⁰, между ними остаются незастроенные участки. При возведении на них зданий и сооружений они могут рассматриваться как зона первичной техногенной трансформации. По мере развития мегалополисов количество таких участков закономерно снижается. Но какая-то часть их территории, как правило, остается незастроенной. Главным образом, это остатки лесных массивов, превращенных лесопарковые зоны.

⁷⁰ Для обозначения комплекса городов, которые благодаря транспортным и иным коммуникациям функционируют как единая система, но территориально еще разобщены, используется термин городская агломерация (Вульфович, 2007; Кабакова, Перцик, 2012).

Все многообразные техногенные тела и структуры, возникающие в процессе освоения городских территорий, рассматриваются в монографии как урбанизационные. В качестве их основных групп можно рассматривать:

- урбаноземы, включающие различные виды грунтов и техногенно-трансформированных почв (почвогрунты, почвоподобные образования), сформировавшихся на территории городов;

- техногенные тела, возникающие при целенаправленном изменении рельефа урбанизированных территорий;

- техногенные тела, образующиеся при возведении наземных зданий и сооружений;

- техногенные тела, возникающие при строительстве подземных транспортных коммуникаций (метрополитена и тоннелей);

- техногенные тела, формирующиеся на территориях промышленных зон.

Селитебные геологические тела представляют собой многолетние наслоения продуктов жизнедеятельности человека. Они значительно менее разнообразны чем урбанизационные тела и их можно рассматривать как техногенные образования только с определенными оговорками. Так, наиболее распространенная разновидность селитебных тел – это так называемый *культурный слой*, т.е. верхний слой земной коры на территории человеческих поселений, сформировавшийся в виде наслоений из продуктов жизнедеятельности людей в течение многолетнего (многовекового периода). Именно этим он отличается от урбаноземов, образующихся в относительно короткий срок и как продукт преобразования верхнего слоя земной коры с использованием различных технических средств. Вместе с тем, четкой границы между культурным слоем и урбаноземами не существует. На начальных этапах его формирование происходило без участия техники. В тот период по своему происхождению он являлся не

техногенным, а антропогенным образованием в узком смысле данного понятия⁷¹. Но по мере развития человеческой цивилизации в составе культурного слоя значительное место стали занимать компоненты техногенного происхождения, например, фрагменты стройматериалов промышленного изготовления. Кроме того, многие селитебные тела подверглись техногенной трансформации после длительного периода их существования в форме антропогенных образований. Например, это происходило при запечатывании их асфальтобетонными покрытиями или загрязнением культурного слоя нефтепродуктами, просачивающимися с поверхности. Подобные селитебные тела уже в полной мере можно отнести к категории техногенных и рассматривать как разновидности урбаноземов.

Культурный слой в значительной мере формируется из отходов и бытового мусора, т.е. из материалов, образующих городские свалки. Но, если свалочные тела образуются в результате их накопления на ограниченных участках, то формирование культурного слоя происходило по всей территории человеческих поселений. В древних городах культурный слой существует в виде пласта, мощность которого, нередко составляет несколько десятков метров, а площадь измеряется квадратными километрами. Это образование и ранее рассматривалось некоторыми специалистами как разновидность геологических тел (Соколовский, 2006).

К селитебным телам можно также отнести скопления вещества, образующегося из хозяйственно-бытовых канализационных стоков.

⁷¹ Возникновение культурного слоя изначально было обусловлено существованием человека как индивидуума, производящего только необходимые предметы своего обихода. Его основным материалом служили пищевые отбросы, продукты жизнедеятельности человека и его домашних животных, вышедшие из употребления предметы домашнего обихода, остатки простейших сооружений, в большинстве случаев создаваемые собственными силами и т.п.

Прежде всего это **поля фильтрации** и **поля орошения**, занимавшие в XX веке десятки квадратных километров. Мощность формирующегося на них осадка достигала метра и более. На современном этапе все большее распространение приобретают **иловые площадки** очистных сооружений закрытого типа, на которых могут скапливаться значительное количество отходов. В некоторых случаях они захораниваются, образуя тела, которые по происхождению также можно отнести к категории селитебных. Кроме того, на базе хозяйственно-бытовых канализационных стоков и продуктов их очистки на поверхности земной коры и в ее пустотах формировались и некоторые другие скопления вещества селитебного происхождения (осадки земляных прудов-отстойников, заполненные нечистотами карьеры и естественные понижения рельефа).

Агропромышленные (биотехногенные) тела возникают в процессе деятельности, конечной целью которой является получение сельскохозяйственной продукции, а также продукции рыбоводных хозяйств и объектов аквакультуры. Среди них можно выделить следующие основные разновидности:

- агротехнические тела – результат обработки земель, пригодных для выращивания сельскохозяйственных культур, с целью повышения их урожайности;

- агромелиоративные тела, возникающие в процессе формирования условий для выращивания сельскохозяйственных культур, на участках ранее для этого непригодных, например, путем их ирригации, осушения, гипсования и т.п.

- агроаккумулятивные тела – скопления побочных продуктов сельскохозяйственной деятельности (навозохранилища, помехохранилища, скотомогильники и т.п.).

Дефростационные⁷² тела возникают в результате процессов техногенной деградации многолетней мерзлоты (криолитозоны). Следует отметить, что наблюдающиеся на современном этапе глобальные климатические изменения обуславливают оттаивание многолетнемерзлых грунтов на значительной территории планеты. Если рассматривать эти явления как последствия промышленных выбросов парниковых газов, то их также можно отнести к техногенным процессам. Однако вопрос о природе происходящих климатических изменений в настоящее время остается спорным. По этой причине в монографии под дефростационными техногенными телами понимаются только образования, возникающие при оттаивании многолетней мерзлоты под воздействием конкретных видов человеческой деятельности, главным образом, при строительстве различных объектов. В этом контексте эти образования можно рассматривать как специфическую разновидность урбанизационных тел.

Техногенные криопэги – это жидкие техногенные тела с постоянно отрицательной температурой, возникающие в результате накопления в многолетнемерзлых массивах горных пород и грунтах высокоминерализованных промышленных и бытовых стоков. Таким образом, образование техногенных криопэгов имеет сходство с процессами трансформации недр на участках промышленных зон и с экологической точки зрения не менее опасно.

Несмотря на различие в характере и целях видов деятельности, рассмотренных в настоящей главе, а также особенностям участков литосферы, трансформацию которых они вызывают, большинству образующихся в ходе этих процессов техногенных геологических тел свойственно ряд общих черт:

⁷² Дефростацией обозначают процесс оттаивания или размораживания различных субстанций.

- постоянное увеличение их суммарного объема, что обусловлено неуклонным ростом народонаселения планеты и хозяйственным освоением все новых участков земной поверхности;
- относительно небольшая мощность по сравнению с площадью занимаемого ими участка земной поверхности или горизонтальной протяженности в ее подповерхностных слоях;
- склонность к деградации и развитию опасных экзогенных процессов, что при утрате контроля за состоянием этих тел, способно нанести значительный материальный и экологический ущерб, а в ряде случаев создает угрозу для жизни людей.

6.2 ТЕХНОГЕННО-ТРАНСФОРМИРОВАНИЕ ГОРОДСКИЕ ГРУНТЫ И ПОЧВО-ГРУНТЫ (УРБАНОЗЕМЫ)

За исключением участков некоторых парковых зон, сохранивших естественный почвенный покров, подавляющая часть территории городов покрыта техногенными грунтами и почво-грунтами. Согласно определению, данному в пункте 14 ГОСТ Р 50544-93 «Породы горные. Термины и определения», **грунтом** может считаться любая горная порода, залегающая преимущественно в пределах зоны выветривания и являющаяся объектом инженерно-строительной деятельности человека. Для описания процессов техногенеза подобная трактовка требует уточнения. В процессе своей деятельности человек часто перемещает поверхностные слои в более глубокие горизонты (например, при обратной засыпке котлованов). Значительная часть грунтов урбанизированных территорий покрыта асфальтобетонными покрытиями. Таким образом, эти геологические тела, рассматриваемые как грунты, находятся вне зоны выветривания. Кроме того, поверхностный слой урбанизированных территорий нередко сложен из материалов, которые нельзя рассматривать как горные породы. Во многих случаях это выровненные скопления измельченных отходов,

образовавшихся при сносе ранее существовавших построек (отходы строительства и сноса). По этим причинам в монографии под термином **грунт** понимается *слой земной коры, сформировавшийся на ее поверхности под воздействием естественных и техногенных факторов, который в процессе человеческой деятельности может быть перемещен в ее более глубокие горизонты.*

Почво-грунты обладают некоторыми свойствами, присущими природным почвам (например, плодородием). В большинстве случаев они возникают в результате техногенной деградации почв, но могут целенаправленно создаваться и путем экологической мелиорации поверхностного слоя горной породы (грунта). Для их обозначения также используют термин **почвоподобные образования** (Синцов, Бармин, 2011; Прокофьева и др., 2014; Артамонова, Бортникова, 2017). На практике граница между грунтами и почво-грунтами во многом носит условный характер. С одной стороны, любая горная порода, в том числе скальная, оказавшаяся на поверхности, как и техногенные тела со сходными свойствами (например, бетонные массивы), быстро заселяется растениями, в первую очередь - лишайниками. А эоловый материал⁷³, накапливающийся в трещинах скальных горных пород, создает условия для укоренения и развития высших растений. Еще быстрее зарастают техногенные обнажения глинистых пород и песчаников, а также сыпучих искусственных материалов, например керамзита. За несколько лет на их поверхности из отмерших частей растительности может сформироваться гумусированный слой, придающий им сходство с примитивными естественными почвами. Многообразие городских почвоподобных тел и техногенно-трансформированных почв послужило основой создания ряда их классификаций, в которых предпринимались попытки включить эти образования в качестве отдельных категорий в принятую

⁷³Скопления частиц, приносимых ветром.

систему описания почв (Blume, 1989; Hollis, 1991; Строгонова и др., 1997; Курачев, Андроханов, 2002; Rossiter, 2007; Naeth et al, 2012; Прокофьева и др., 2011; 2014; Апарин, Сухачева, 2013; 2015; Кулик и др., 2015; Артамонова, Бортникова, 2017; Аксенова и др., 2019). Все эти классификации требуют детального изучения структуры и генезиса изучаемых объектов, что делает доступным их использование только специалистам-почвоведом. Кроме того, факторы формирования тел, слагающих земную поверхность на урбанизированных территориях, принципиально отличаются от факторов, определяющих процессы естественного почвообразования. В их состав нередко входят различные техногенные блоки и включения, в том числе фрагменты погребенных сооружений, которые С.П. Горшков (1982) называет урбаноконструкциями. В большинстве случаев они содержат различные загрязнители, в частности тяжелые металлы, в количествах многократно превышающих допустимые нормы (ПДК) (Обухов и др., 1990; Wang et al., 2006; Bretzel, Calderisi, 2006; Cheng et al., 2014; Середа и др., 2018). Скорость образования и трансформации техногенных грунтов неизмеримо выше, чем у естественных почв. Нередко эти процессы протекают на фоне формирования техногенного рельефа местности. По этим причинам традиционные методы почвенных исследований при изучении техногенных грунтов непригодны (Кононенко, 2000; Голусов, 2009). Многочисленные попытки рассматривать поверхностные тела урбанизированных территорий как особую совокупность изначально природных почв, покрытых неким искусственным слоем, обозначаемым как «урбик», не дают адекватного представления о характере техногенеза земной поверхности этих участков. Например, поверхностный слой грунта на участке засыпанного котлована – это искусственно выделенный фрагмент техногенного тела. Он вместе с остальным материалом обратной засыпки представляет собой единый массив, образовавшийся в

конкретном процессе целенаправленной человеческой деятельности – заполнении котлована.

Помимо прочего, в предлагаемых классификациях количество выделяемых видов городских почв неоправданно велико. Так, в качестве их отдельных видов в работах немецких почвоведов выделялись почво-грунты на прицерковных дворах. Существенные трудности при системном исследовании техногенеза урбанизированных участков земной поверхности (а не изучении ее отдельных фрагментов) состоят в том, что большинство из этих классификаций включает только трансформированные в ходе урбанизации природные почвы и почвоподобные образования. Техногенным грунтам, не имеющим генетической связи с естественным почвенным покровом, внимания не уделяется. В результате возникает вопрос: к какой категории отнести грунт, недавно образовавшийся в результате гидронамыва или в результате вертикальной планировки поверхности, сопровождающейся возникновением обратной стратификации поверхностных слоев?

Попытка решить данную проблему предпринята в монографии Г.В. Ковалевой с соавт. (2012). Ее авторами предложен термин ***техногенные поверхностные образования (ТПО)***, под которым понимается совокупность целенаправленно сконструированных почвоподобных тел и скоплений побочных продуктов хозяйственной деятельности, состоящих из естественных или искусственных материалов. Предложенная классификация ТПО одновременно включает как различные разновидности городских грунтов, так и объекты, которые ими не являются. Группы ТПО выделяются по потенциальной способности их материала к последующему хозяйственному использованию и возобновлению почвообразования при развитии на них растительности. Некоторые из них представляют собой не грунт, как таковой, а скорее поверхность определенного характера. Примером могут служить *абралиты* – днища и борта карьеров, а также других горных

выработок, или *артифимостраты* жидкие, полужидкие и твердые органические материалы, к которым, в частности, относятся городские фекальные стоки («поля орошения») и навозно-жижевые стоки животноводческих ферм.

Таким образом, существующие классификации городских почв и грунтов, несомненно, представляют интерес при проведении научных исследований в области почвоведения, а также при разработке способов рекультивации утраченного почвенного покрова. Вместе с тем, для описания городской геологической среды, в состав которой входит и почвенно-грунтовый слой (Сергеев, 1979; 1982; Королев, 1995), их использование затруднительно из-за высокой степени детализации видов и разновидностей, а также включения в них объектов, не являющихся грунтами. По этой причине автором монографии разработан более простой способ классификации городских почв и грунтов. В отличие от ранее предлагавшихся систем в его основу положены не особенности структуры, а характер процессов техногенеза, приводящих к возникновению подобных образований (рис. 6.5). Кроме того, представляется целесообразным объединить все трансформированные и созданные человеком на городской территории почвы, почво-грунты и грунты обобщающим термином *урбанозем*. Для обозначения его отдельных видов по возможности использовались термины, ранее уже применявшиеся при описании почвенного покрова городов.

Как уже указывалось в предшествующем разделе городские грунты и трансформированные почвы с позиций второй геологии являются техногенными геологическими телами или структурами. ***Основными видами и разновидностями этих урбаноземов являются:***

1. **Техноземы** – грунты, образуются в результате механической трансформации земной коры.

**Процессы техногенеза
городских грунтов
и почв**

**Виды и разновидности
урбаноземов**



Рисунок 6.5. Основные виды (разновидности) урбаноземов и процессы, обуславливающие их образование

На урбанизированных территориях эта деятельность в большинстве случаев осуществляется с целью выравнивания рельефа. Данная категория грунтов имеет несколько разновидностей, основными из которых являются насыпные, намывные и скальпированные техноземы. **Насыпные техноземы** образуются при создании на земной поверхности слоя из привезенных с другого участка (карьера, отвала) рыхлых горных пород и продуктов их переработки (глины, песка, щебня). К данной разновидности техноземов, в частности, относятся материалы, используемые для обратной засыпки котлованов, траншей и иных впадин или пустот, образовавшихся в процессе строительной деятельности. В насыпных техноземах могут присутствовать не только подвергшиеся механической переработке естественные горные породы, но и различные аллохтонные материалы, в т.ч. относимые, к категории загрязнителей. Но их доля в общей массе незначительна.

Намывные техноземы возникают в результате формирования на земной поверхности нового слоя методом гидронамыва. Например, подобные грунты создаются при повышении уровня на пойменных участках рек, протекающих через городскую территорию (Леонтович, 1985). Насыпные и намывные техноземы могут размещаться поверх культурного слоя или естественного почвенного покрова, который в этом случае рассматривается как слой «погребенных почв».

Скальпированные техноземы возникают в результате снятия почвенного покрова – обнажения подстилающих горных пород. В последующий период их состав и свойства постепенно изменяются под воздействием внешней среды, например, загрязнения и засорения, а также развития растительности.

2. **Индустриземы** – грунты, в основной массе состоящие из промышленных отходов (шлаков, золы, древесных опилок и др.) или

остатков неиспользованного производственного сырья (угольной крошки, угольной пыли и др.). К материалам, из которых слагаются грунты этого вида можно отнести также измельченные отходы строительства и сноса, образующиеся при демонтаже различных построек. Образование индустриземов происходит в результате двух различных причин. Во-первых, при постепенном относительно равномерном неконтролируемом накоплении отходов на земной поверхности. Подобный процесс характерен для существовавших длительный период промышленных зон. В связи с этим, данную разновидность можно обозначить как **промышленные индустриземы**.

Во-вторых, это использование инертных производственных отходов для выравнивания рельефа строительных площадок или дорожных насыпей. Подобные грунты можно назвать **строительными индустриземами**. В составе индустриземов в определенном количестве нередко содержатся включения, происхождение которых непосредственно не связано с промышленным производством. Например, это фрагменты естественных почв или горных пород. Также как техноземы, индустриземы могут формироваться поверх культурного слоя или погребать под собой естественный почвенный покров.

3. **Интруземы** – грунты, являющиеся продуктом химической трансформации почвенного покрова. В большинстве случаев это происходит при пропитке почв техническими маслами и жидкими видами топлива. Например, подобные грунты характерны для участков бензозаправочных станций, на которых происходят периодические утечки. Ранее для обозначения подобных грунтов также предлагались названия «урбохемозем» и «нефтезем» (Строганова и др., 1997). В интруземы в результате химической трансформации могут превратиться техноземы и индустриземы. В соответствии с этим можно выделить **первичные интруземы**,

возникающие при химической трансформации естественного почвенного покрова и **вторичные интруземы**, образующиеся на базе техногенных грунтов.

В совокупности индустрисемы и интруземы иногда обозначаются как **хемоземы** (Шишов и др., 2004). В тех случаях, когда данные категории урбаноземов включают высокотоксичные вещества, для их обозначения может использоваться термин «**поллютоземы**» (Строганова и др., 1997). Такие почвоподобные образования и грунты формируют химически-опасные техногенные тела и структуры.

4. **Экраноземы** – грунты, возникающие при изоляции земной поверхности асфальтобетонными покрытиями. Располагающиеся под ними почвы и грунты также называют запечатанными. В современных крупных городах подобные участки могут занимать более 50% площади территории (Синцов, Бармин, 2011).

С точки зрения исследователей-почвоведов экраноземы – это запечатанные почвы или почвоподобные образования. Но рассматривая их как техногенные структуры, следует обратить внимание на то, что помимо изолированных почв (грунтов) в их составе всегда присутствуют и иные элементы. При общепринятых технологиях создания асфальтобетонных покрытий они размещаются на специально создаваемых основаниях, которые, в зависимости от предназначения покрытия, могут иметь различную структуру (Владимиров и др., 2004). Наибольшей сложности и мощности они достигают на крупных современных автомагистралях и обозначаются термином *дорожная одежда*. Основание асфальтового покрытия пешеходных путей (тротуаров и др.), испытывающих меньшие нагрузки, устроено более просто. Один из распространенных вариантов представлен на рисунке 6.6. Но и в этом случае мощность основания асфальтобетонного покрытия нередко достигает 1 м и более.

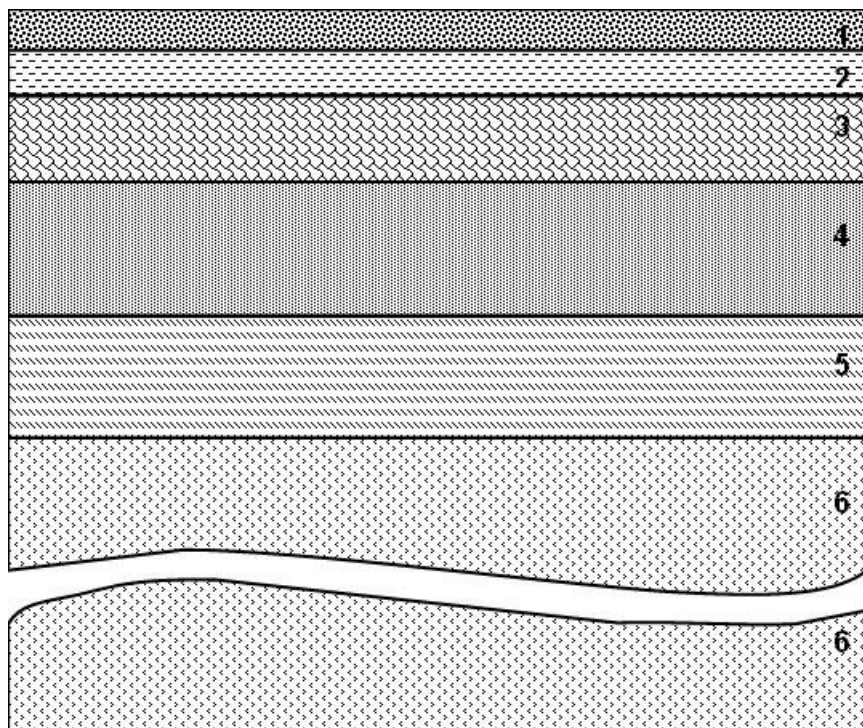


Рисунок 6.6. Схема типового асфальтового покрытия на участке тротуара: 1 – мелкозернистый асфальтобетон; 2 – крупнозернистый асфальтобетон; 3 – щебень; 4 – песок средней крупности с послойным трамбованием; 5 –уплотненный грунт; 6 – запечатанная почва

Из нескольких слоев формируются и асфальтобетонные покрытия других участков урбанизированных территорий: автостоянок, площадок промышленных предприятий, аэродромов, заасфальтированных прогулочных дорожек в рекреационных зонах и т.п. Таким образом, с позиций второй геологии, *экранозем* – это целенаправленно сформированное стратифицированное техногенное тело или структура, в котором запечатанные почвы (грунты) являются лишь одним из элементов.

Состав запечатанных почв и почвоподобных образований – экраноземов – весьма различен, но им свойственны две общие черты. Во-первых, крайне низкий уровень прямого взаимодействия с приземным слоем воздуха и выпадающими осадками⁷⁴, что приводит к принципиальному изменению физико-химических и микробиологических процессов. В частности, разложение органических веществ происходит в экраноземах при весьма низком содержании в среде кислорода или его отсутствии. Основным газообразным продуктом в этом случае является метан. Во-вторых, представляющее опасность разрушение экраноземов (образование в них пустот и подземных промоин) до определенного времени недоступно для внешнего наблюдения. Среди экраноземов можно условно выделить две основные разновидности, между которыми существует ряд переходных форм. Первая из них – это *стабильные экраноземы*, неподверженные быстрому разрушению. Их примером могут служить каменные насыпи под участками автодорожных покрытий. Вторая разновидность – *нестабильные экраноземы*, способные к интенсивному разрушению, например, в результате карстово-суффозионных процессов.

Со временем отдельные участки верхнего слоя асфальтобетонных покрытий разрушаются или деформируются. Их текущий ремонт нередко осуществляется путем нанесения на подобное частично разрушенное покрытие нового слоя асфальта (битумной смеси), выравнивающего его поверхность. Крупные выбоины перед асфальтированием могут засыпаться щебнем или иным материалом. Подобная операция может осуществляться многократно, что приводит к увеличению мощности верхнего слоя

⁷⁴ Полной изоляции на практике не существует, поскольку в асфальтобетонных покрытиях почти всегда существуют трещины и негерметичные сочленения. Кроме того, они нередко перемежаются участками открытого грунта (газонами, почвой вокруг деревьев).

покрытия, которое иногда достигает 1 м. В результате возникает еще одна разновидность поверхностных урбанизационных структур, которую можно обозначить *наслоенные экраноземы*.

5. **Реплантоземы** образуются при отсыпке на земную поверхность материалов, способных создать условия для быстрого развития растительности. Как правило, это происходит при рекультивации территорий, где плодородный слой был ранее уничтожен. Подобную деятельность можно рассматривать как одну из форм техногенеза – *креативный техногенез*, в результате которого возникают искусственные структуры, улучшающие состояние окружающей среды (Суздалева, Горюнова, 2914). Г.В. Ковалева с соавт. (2012) рассматривает реплантоземы как одну из подгрупп техногенных поверхностных образования (ТПО) – *квазиземов*, в которую включаются искусственные почвоподобные грунты, верхний слой которых сложен из привнесенного *гумусированного материала*.

Создание реплантоземов осуществляется двумя основными способами. Во-первых, это возвращение на участки строительных работ ранее снятого с них и сохраненного на особых площадках верхнего плодородного слоя почвы. Для его обозначения можно использовать предложенный почвоведом термин *агротехнозем*, под которым понимается используемый в земледелии плодородный горизонт почвы, срезанный при подготовке территории, предназначенной для размещения каких-то техногенных объектов (Лебедева и др., 2008). Следует отметить, что снятие, сохранение и последующее использование плодородного слоя – это требование действующего законодательства⁷⁵. Образования, состоящие из трансформированного грунта, поверх которого размещается слой,

⁷⁵ ГОСТ 17.5.3.06-85 «Охрана природы. Земли. Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ».

ранее составлявший часть сформировавшегося естественным путем почвенного профиля, можно обозначить как ***почвенные реплантоземы***.

Снятие и сохранение плодородного слоя почвы, как правило, возможно при строительстве объектов в зоне периферийной первичной техногенной трансформации (см. рис. 6.3). При проведении рекультивационных работ в центральных частях урбанизированных территорий (зоне вторичной техногенной трансформации) реплантоземы чаще создаются путем покрытия поверхности техногенного грунта какими-то искусственно создаваемыми материалами (компостами, измельченным сухим торфом, торфокомпостной смесью и т.п.), способными обеспечить его плодородие на уровне, необходимом для биологической рекультивации данного участка. В результате возникают структуры, которые можно назвать ***покровными реплантоземами***. Для обозначения таких почвоподобных образований ранее был предложен близкий по смыслу термин «*урбиквазиземы*» – ТПО, возникающие при отсыпке плодородного слоя на техногенные субстраты, не подвергшиеся специальной предварительной обработке (Ковалева и др., 2012). Но на практике, отсыпка плодородного слоя на техническом этапе рекультивации почти всегда включает те или иные действия по подготовке площадки (вертикальная планировка и др.), на которой осуществляются данные работы, поэтому выделение урбиквазиземов в отдельную от реплантоземов категорию представляется нецелесообразным.

6. Культуроземы – это почвы, подвергающиеся обработке с целью создания условий для произрастания определенных видов растений. Создание культуроземов также можно рассматривать как одну из форм техногенеза почвенного покрова (Суздалева, Горюнова, 2014). На урбанизированных территориях – это один из видов *урбаноземов*. Их характерной чертой является плодородие

(Синцов, Бармин, 2011). Состав и структура верхних горизонтов культуроземов, как правило, отличается от таковых у ранее существовавших на данном участке природных почв. Вместе с тем, они в большей степени, чем другие виды урбаноземов, сохраняют структуру природного почвенного покрова (естественным образом сформировавшийся почвенный профиль). Этим они отличаются от *реплантоземов* и *конструктоземов*. Наиболее распространенной разновидностью культуроземов являются **рекреаземы** (Кулик и др., 2015) – почвы городских парков и других озелененных мест массового отдыха. К культуроземам также можно отнести почвенный покров городских особо охраняемых объектов (Прокофьева, Попутников, 2010), которые можно обозначить как **экоземы**. К данной группе урбаноземов близки почвы городских кладбищ – **некроземы** (Строганова и др., 1997), хотя характер их техногенеза имеет ряд специфических черт (например, мозаичная нарушенность стратификации почв в результате рытья могил). По этой причине большинство почвоведов выделяет их в качестве отдельного вида городских почв.

7. **Конструктоземы** — искусственно создаваемые почвоподобные образования, обладающие свойствами природных почв. Они представляют собой структуры, состоящие из нескольких слоев материалов разного гранулометрического состава и происхождения, каждый из которых выполняет определенную функцию. В зарубежной литературе для их обозначения используется несколько различных терминов: *man-made soils* и *structosols* (Сусленкова, 2019). Конструктоземы могут создаваться и за пределами урбанизированных территорий и выполнять широкий спектр задач (Смагин, 2012). Например, использоваться для земледелия или обеспечивать стабилизацию поверхностных слоев геологической среды. В городах наиболее распространенными конструктоземами являются так называемые **искусственные**

слоистые почвы (Васенев, Макаров, 2011), которые часто используются при создании газонов и состоят из чередующихся отсыпок компоста или торфа и песка. В некоторых случаях в состав конструктороземов включаются и некоторые виды отходов, способными повысить их плодородие. Например, таким способом осуществляется утилизация осадка, образующегося при очистке сточных вод (Зотов и др., 2012). С ним в почву могут попадать различные загрязнители (например, тяжелые металлы), которые затем с грунтовыми водами могут распространяться в окружающей среде и накапливаться в наземных частях растений. По этим причинам вопрос о целесообразности создания подобных конструктороземов представляется дискуссионным. Большинство описанных выше вариантов конструктороземов можно рассматривать как усовершенствованные реплантоземы. Их основное предназначение также заключается в создании в верхнем слое урбаноземов субстрата, пригодного для развития растительности. Поэтому для обозначения этих техногенных структур можно предложить термин *субстратоземы*.

По мере того как процесс уничтожения естественного почвенного покрова принимает планетарные масштабы, все более актуальной задачей становится формирование конструктороземов, способных выполнять все функции, присущие различным горизонтам почвенного профиля – от поверхностного перегнойно-аккумулятивного горизонта до горной породы, служащей его основанием (Суздалева, Горюнова, 2017). В состав подобных конструктороземов могут быть включены устойчивые к разложению и деформации модульные компоненты из бетона и синтетических материалов. Их назначение – обеспечение контролируемого дренажа вод и благоприятного режима аэрации почв. Данная разновидность конструктороземов является целостной искусственно созданной новой техногенной структурой (телом), размещаемой в геологической среде. По этой причине ее можно обозначить как

новозем. Подобные полнопрофильные конструктороземы в настоящее время, например, востребованы при возведении искусственных островов (Суздалева, 2020а). Создание новоземов может решить проблему восстановления благоприятной экологической ситуации на сильно загрязненных участках земной поверхности, очистка которых невозможна, а попытки изоляции путем засыпки слоем чистого грунта дают лишь временный эффект. Решение проблемы в подобном случае может заключаться в снятии всего загрязненного слоя и захоронении его на полигоне для опасных отходов. После этого на данном участке возможно создание новозема, который станет основой для восстановления утраченного биоразнообразия растительности и животного мира на урбанизированной территории.

6.3. ТЕХНОГЕНЕЗ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПРИ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОМ ИЗМЕНЕНИИ РЕЛЬЕФА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Практически всегда урбанизация территории сопровождается трансформацией рельефа ее поверхности. В одних случаях эти явления могут возникать как побочные эффекты человеческой деятельности. Например, это оседание поверхности при строительстве подземных транспортных коммуникаций. В других случаях изменение рельефа урбанизированных территорий осуществляется целенаправленно, в процессе так называемой **инженерной подготовки территории**. Основные цели этой деятельности заключаются в создании максимально благоприятного рельефа для возведения зданий и сооружений, а также снижения риска возникновения и возможных последствий опасных геологических процессов на участках застройки (Владимиров и др., 2004). Совокупность действий, предпринимаемых с целью приспособления рельефа местности к осуществляемой градостроительной деятельности и последующему благоустройству

урбанизированных участков, обозначается термином **вертикальная планировка территории** (Леонтович, 1985; Кузнецова, 2011). Данный элемент инженерной подготовки территории включает обширный комплекс мероприятий. Помимо создания рельефа, необходимого для возведения объектов капитального строительства и их последующей эксплуатации (исключение подтопления подземных помещений и процессов, создающих угрозу разрушения оснований), при осуществлении вертикальной планировки территории решается и ряд других проблем. В частности, это формирование уклонов поверхности, обеспечивающих отведение дождевых, талых и прочих поверхностных вод, создание безопасных и удобных условий для передвижения транспорта и пешеходов, придание рельефу особенностей, улучшающих восприятие архитектурно-композиционных аспектов застройки (Владимиров и др., 2004). На практике выполнение этих задач осуществляется двумя основными путями (Аникина, 2013; Лихачева, Некрасова, 2020). Во-первых, это аккумуляция материала (засыпка котлованов, подъем уровня земной поверхности, создания насыпей) в результате которой возникают новые техногенные тела и структуры. В некоторых случаях они достигают весьма значительных масштабов. Так, в центре г. Москвы долины заключенных в подземные трубы рек Пресня и Неглинная заполнены техногенными отложениями мощностью 7-10 м, а в долине реки Кровянка в Юго-западном административном округе мощность техногенных отложений достигает 19-20 м. Во-вторых, это **искусственная денудация**, заключающаяся в срезке возвышенностей и выравнивании склонов. Этот процесс также сопровождается возникновением техногенных тел и структур, поскольку грунты и горные породы, изъятые на одном участке урбанизированной территории, аккумулируются на другом. Достаточно часто эти процессы технологически взаимосвязаны. Так, грунт при срезке рельефа в одной части города

может быть использован для повышения поверхности или засыпки впадин на другой его части.

Характерной разновидностью техногенных геологических тел, возникающих при инженерной подготовке территорий, являются искусственные напластования намывных техноземов, создаваемые с целью превращения пойменных участков рек в площадки, пригодные для возведения городской застройки (рис. 6.7). Так, в Киеве во второй половине XX века методом гидронамыва было произведено повышение поверхности поймы р. Днепр на 5-6 м. На сформированных техногенных телах были построены жилые районы: Русановка 4,1 млн м³; Березняки – 8 млн м³; Оболонь – 55 млн м³ и Левобережный – 2,6 млн м³. Аналогичные проекты осуществлялись и в различных городах России. Поверхностям подобных техногенных тел придают слабый уклон, обеспечивающий отведение вод поверхностного стока.

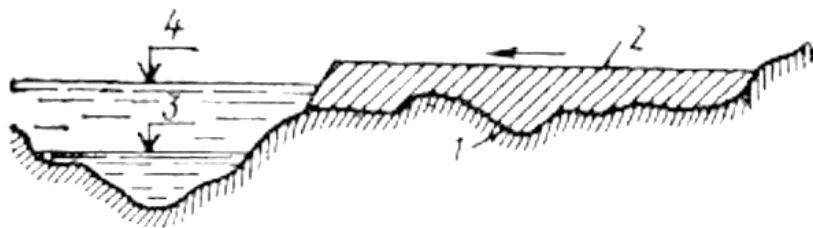


Рисунок 6.7. Техногенное тело, созданное для повышения уровня земной поверхности в пойме реки: 1 – естественный рельеф; 2- техногенное тело; 3-4 – уровни меженных и паводковых вод; стрелкой показано направление движения поверхностного стока (по Леонтович, 1985)

Важной задачей вертикальной планировки является ликвидация оврагов и предотвращения развития в них, а также на склонах возвышенностей, опасных экзогенных процессов, прежде всего, оползней. Выполнение этих задач осуществляется несколькими

различными путями, основными из которых являются полная или частичная засыпка оврагов, уполаживание склонов и их террасирование (рис. 6.8).

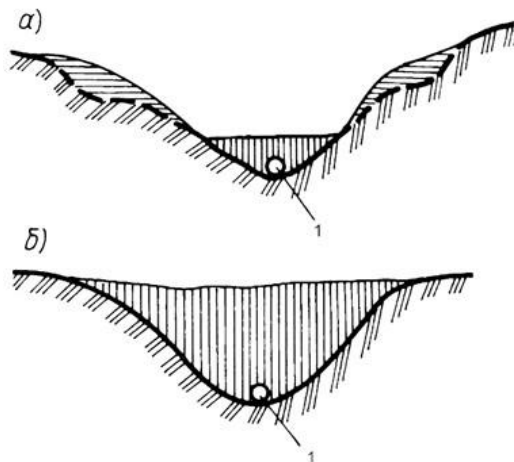


Рисунок 6.8. Формирование техногенных тел при частичной (а) и полной ликвидации оврагов (б): 1 – дренажный коллектор; вертикальной штриховкой обозначены техногенные тела (структуры), формирующиеся на при засыпке оврага, а горизонтальной штриховкой образующиеся при уполаживании его склонов (по Владимиров и др., 2004)

Практически во всех случаях в ходе этих работ происходит формирование техногенных тел и структур. Так полная засыпка оврагов осуществляется либо привозным грунтом, либо строительными отходами. Результатом становится образование насыпных техноземов большой мощности или градостроительных техногенных тел. При ликвидации оврагов также используется гидронамыв (Владимиров и др., 2004), что сопровождается образованием намывных техноземов. Овраги принимают сток с окружающих территорий. Создание препятствий на путях его распространения может привести к подтоплению территории и изменению гидрогеологических условий на урбанизированной

территории. Для предотвращения подобных явлений перед засыпкой оврагов по их дну прокладывают дренажный коллектор, отводящий поверхностный сток.

Техногенные тела и структуры аналогичного состава формируются и при частичной засыпке оврагов, часто сопровождающейся уполаживанием его склонов (рис. 6.8а). Основная цель этой деятельности заключается в предотвращении эрозии и оползнеобразования. Отсыпка или намыв грунта на склоны и дно оврага создает упорные призмы, препятствующие развитию этих процессов. При частичной засыпке оврагов для отвода поверхностного стока по их дну также прокладывается дренажный коллектор.

Террасирование, т.е. создание на склонах устойчивых горизонтальных площадок, осуществляется не только для их укрепления, но и для создания подъездных путей (серпантинов) к зданиям, размещаемым на возвышенностях, а также с целью ландшафтного дизайна урбанизированных территорий. Разграничение террас в городах обычно создается на основе возведения подпорных стен (рис. 6.9). Для их сооружения используются железобетонные конструкции, каменные блоки, кирпичная кладка и иные способы (Проектирование ..., 1990). Пространство между подпорной стеной и расположенной выше горизонтальной площадкой засыпается грунтом, подвергшимся механической трансформации при ее выравнивании. Может также использоваться привозной грунт. В любом случае у засыпанной подпорной стены формируется массив насыпного технозема. На его базе обычно создаются различные покрытия, например, экранозем (дорожная одежда), окруженная по краям реплантоземами или конструктоземами. Совокупность перечисленных техногенных тел и структур может рассматриваться техногенная формация, созданная для выполнения определенной функции.

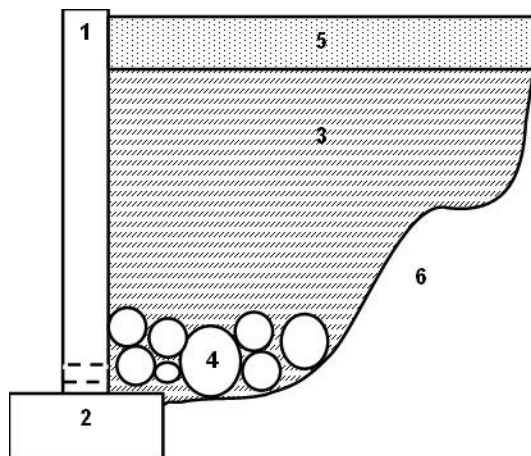


Рисунок 6.9. Схема террасирования с использованием подпорной стены: 1 – подпорная стена; 2 – фундамент; 3 – насыпной технозем; 4 – каменная забутовка с водоотводом; 5 – покрытия; 6 – засыпанный склон

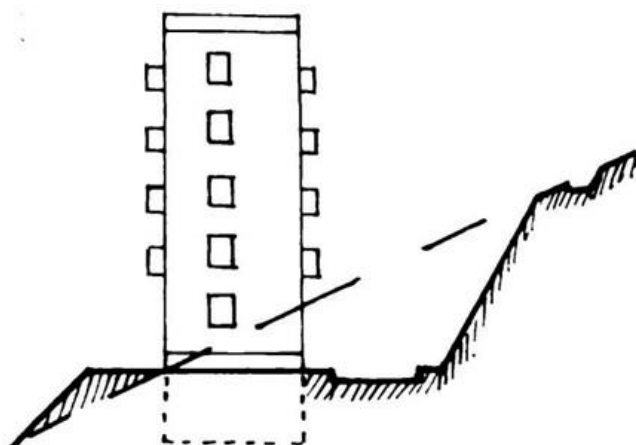


Рисунок 6.10. Террасирование склона для постройки здания без возведения подпорной стены (по Владимиров и др., 2004)

Для предотвращения накопления в насыпном техноземе воды и возникновения условий для его разжижения в нижней части этой структуры создается дренаж, например, в форме каменной забутовки, прилегающей к водоотводящим трубам, проходящих через подпорную стену. При подобном способе террасирования обычно создается система функционально связанных подпорных стен, покрывающих либо всю поверхность склона, либо его значительную часть. Таким образом, возникает техногенная формация более высокого уровня, чем при возведении единичной террасы.

Террасирование относительно пологих склонов на урбанизированных территориях может осуществляться и без строительства подпорных стен. В этом случае также на участок склона при создании на нем горизонтальных площадок перемещается часть механически трансформированного грунта (рис. 6.10). Для закрепления образовавшегося массива насыпного технозема используются габионы или искусственные растительные покрытия на основе специальных тканей. Результатом также становится образование еще одного поверхностного техногенного тела (структуры).

6.4. ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НАЗЕМНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Рост населения городов и увеличение стоимости в них жилых и иных помещений стимулирует размещение их максимально возможного количества, на ограниченной площади. Данная проблема решается не только путем увеличения высоты (этажности) зданий. Одновременно происходит и освоение подземного пространства (Маковский, 1985; Теличенко и др., 2010; Пономарев, Винников, 2014; Конюхов, 2019а). Например, в Токио в большинстве зданий имеется 3-4 подземных этажа, так под Центральным

вокзалом этого мегаполиса построен один из самых крупных подземных комплексов «Яэсу». Площадь его помещений составляет 68 тыс. м². В них размещаются десятки магазинов, кафе, ресторанов, а также отделения банков и офисы страховых компаний. Подземные улицы под деловой частью г. Торонто (Канада), соединяющие размещенные там же торговые аллеи, супермаркеты и паркинги, имеют общую протяженность 27 км. Предполагается, что в ближайшем будущем площадь подземных помещений в городах, в т.ч. в Москве, будет составлять 20-25% от общей площади всех городских помещений (Осипов и др., 2011). Значительно увеличится и глубина их размещения. Так, в Дубаи (ОАЭ) разработан проект подземного 400-метрового «небоскреба». В нем на глубине 350 м планируется создать отель (Картозия, 2020). Обеспечение комфортных условий для пребывания людей в постройках, расположенных в десятках и даже сотнях метрах ниже земной поверхности, требует создания крупномасштабных подземных инженерно-технических сетей. В результате сооружение подземных объектов неизбежно приводит к переработке значительной части расположенных под городами верхних слоев земной коры. На обширных участках урбанизированных территорий толща земной коры превращается в чередование строительных конструкций и залегающих в промежутках между ними в той или иной степени трансформированных массивов грунтов и горных пород.

Возведение подземных частей зданий и сооружений может сопровождаться образованием нескольких основных типов техногенных геологических тел (структур) и техногенных геологических формаций:

1. Техногенные тела, возникающие при обратной засыпке котлованов.
2. Техногенные тела, структуры и формации, образующиеся из оставшихся фундаментов подземных конструкций снесенных объектов.

3. Техногенные тела и техногенные формации, возникающие при трансформации массивов горных пород в результате прямого или косвенного воздействия деятельности по возведению подземных частей объектов (изменения рельефа, гидрогеологических условий и т.п.).

4. Техногенные тела и структуры, целенаправленно создаваемые при проведении работ по укреплению различными способами оснований фундаментов.

Как правило, участок литосферы, подвергшийся техногенной трансформации, тем больше, чем значительнее объем размещаемых в нем сооружений. Вместе с тем, данная закономерность не носит характер прямо пропорциональной зависимости. Скорее это тенденция, которая зависит от комплекса сопутствующих факторов, прежде всего, от структуры фундамента и характера основания.

Фундамент – это несущая конструкция, нижняя часть здания или сооружения, которая воспринимает все нагрузки от его вышележащих частей и распределяет их по основанию. Его поверхность, прилегающая к основанию, называется подошвой, а верхняя поверхность – обрезом (рис. 6.11).

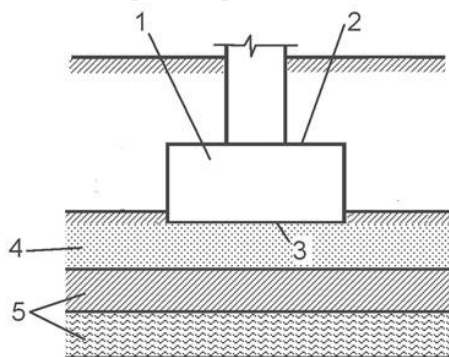


Рисунок 6.11. Схема фундамента и его основания: 1 – фундамент; 2 – обрез фундамента; 3 – подошва фундамента; 4 – несущий слой; 5 – подстилающие слои (по Федулов, Артемова, 2015)

Основанием в области строительной деятельности называют часть массива земной коры, на которой размещается фундамент. Часть основания, с которой непосредственно контактирует с фундаментом, обозначают как несущий слой, а расположенные под ним слои как подстилающие.

Существует несколько типов фундаментов (Федулов, Артемова, 2015), из которых мы рассмотрим лишь один – фундаменты, возводимые в открытых котлованах, называемые также фундаментами мелкого заложения. Относительная простота конструкции (рис. 6.12) позволяет в упрощенно-схематичной форме кратко рассмотреть процессы взаимодействия фундамента и основания. В той или иной мере описанные явления свойственны и строениям, имеющим другие типы фундаментов, хотя могут иметь место и существенные различия, обусловленные особенностями их структуры.

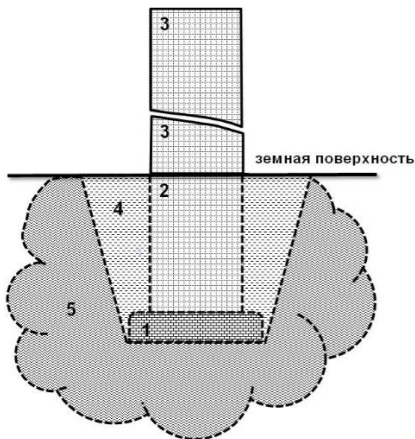


Рисунок 6.12. Схема размещения подземной части здания и структуры окружающей его геологической среды: 1 – фундамент, 2 – подземная часть здания (подземные этажи); 3 – надземная часть здания (надземные этажи); 4 – котлован, заполненный материалом обратной засыпки (насыпным техноземом); 5 – зона техногенного влияния на состояние земной коры

Возведение подземных частей здания всегда вызывает либо превращение природного массива горных пород в новый участок геологической среды, либо глубокую трансформацию уже существовавшей геологической среды. Для обратной засыпки котлована в большинстве случаев используется масса грунта, извлеченная при его рытье. При строительстве на урбанизированной территории основная часть этого материала, как правило, ранее уже подвергалась техногенной трансформации. В этих случаях при засыпке котлована происходит образование вторичного техногенного тела. При строительстве в зонах расширения урбанизированных территорий грунты и горные породы, извлекаемые при рытье котлована, являются материалом естественных геологических тел. Вместе с тем, в процессе рытья котлована они подверглись техногенной трансформации, в первую очередь, фрагментации. Их послойное размещение – стратификация – была нарушена. Кроме того, в отвалы грунта нередко попадают и различные строительные отходы. Поэтому при обратной засыпке котлованов и в этом случае образуется техногенное тело. Согласно представленной в разделе 6.2 классификации, оно состоит из насыпного технозема.

Весьма распространенным видом техногенных геологических структур на урбанизированных территориях, существующих уже достаточно длительное время, являются фундаменты и погребенные конструкции снесенных зданий и сооружений. Если они размещены компактными группами, что характерно при высокой плотности ранее существовавшей городской застройки, их можно в совокупности рассматривать как техногенные тела и даже как техногенные формации, образовавшиеся из остатков комплекса строений. При рытье котлованов обнаруживаемые старые строительные конструкции (если они не имеют археологической ценности) подлежат демонтажу и фрагментируются, после чего используются в качестве материала для обратной засыпки,

помещаются в отвалы или вывозятся на свалки. Нередко фундаменты и нижние части бывших зданий используются в качестве оснований для возведения новых объектов.

При создании котлована, осуществляемого различными способами, практически всегда предпринимаются меры по недопущению (минимизации риска) разрушения прилегающих к нему массивов горных пород или техногенных геологических тел. Прежде всего, это связано с тем, что трансформация земной толщи, окружающей котлован, сопровождающаяся ее деформацией, создает угрозу разрушения строений на соседних участках. Снизить риск подобных явлений до пренебрежимо малого уровня на практике невозможно. Наибольшую опасность представляют нарушения устойчивости материала бортов котлована, сдвиги массивов грунта и вызванные его созданием изменения уровня грунтовых вод.

По контуру котлована нередко наблюдается снижение прочностных характеристик горных пород, увеличение их трещиноватости и интенсификация суффозионных процессов. Результатом могут стать обрушения бортов котлованов в форме оползней и обвалов, приводящих к разрушению всех объектов, размещенных в зоне их образования. Вызванные этой же причиной сдвиги грунтовых массивов могут охватывать значительно большую территорию и вызывать деформацию расположенных на ней строений.

Статическая нагрузка от строительных конструкций нередко вызывает уплотнение основания, т.е. превращение его в реструктурированное тело. Степень развития этого процесса во многом зависит от естественных особенностей данного участка земной коры. Если основанием фундамента служат скальные породы, образующие горный массив, целостность которого не была нарушена в ходе предшествующего освоения городской территории, то подобные явления, как правило, незначимы. В случаях же

размещения фундамента на основании из менее прочных грунтов, воздействие статической нагрузки может вызвать значительную **просадку здания** или **сооружения**, способную вызвать разрушение их конструкций. Еще более опасен **сдвиг** объектов, сопровождающийся выдавливанием (перемещением) разжиженного грунта из-под подошвы фундамента (рис. 6.13). При этом происходит значительное расширение зоны техногенной трансформации, которое может стать триггером развития опасных экзогенных геологических явлений на близлежащей территории, например, оползней.

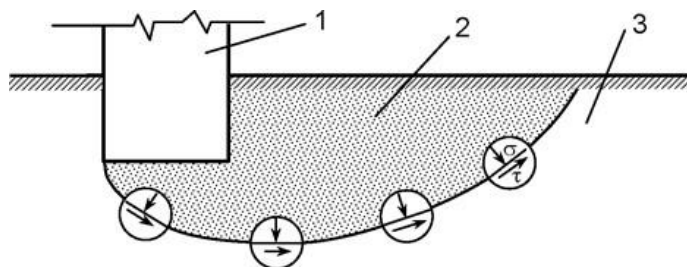


Рисунок 6.13. Схема основания при развитии областей сдвига: 1 – сооружение; 2 – перемещающаяся часть массива грунта; 3 – неподвижная часть массива; стрелки в кружках указывают направления нормальных (σ) и касательных (τ) напряжений (по Федулов, Артемова, 2015)

Возведение зданий и сооружений может сопровождаться как понижением, так и повышением уровня грунтовых вод (Легgett, 1976). Оба эти явления представляют серьезную опасность. Понижение уровня грунтовых вод в результате их фильтрации в котлован может привести к образованию депрессионной воронки (Осипов и др., 2011). Это также создает угрозу деформации строений, расположенных в ее пределах. Кроме того, скопление на дне котлована воды способно вызывать разуплотнение

(разжижение) не только несущих, но и подстилающих слоев, возможные последствия чего описаны выше.

Повышение уровня грунтовых вод весьма характерно для урбанизированных территорий и обуславливается несколькими различными факторами. В первую очередь, это обводнение грунтов и горных пород при утечках из инженерно-технических сетей (водопроводной, канализационной, теплоснабжения). Другая распространенная причина заключается в том, что возведение подземных объектов нарушает условия естественного дренажа подземных вод, создает преграды на пути их стока. Нередко эти факторы воздействуют одновременно.

Повышение уровня грунтовых вод часто сопровождается интенсификацией суффозионных процессов (Хоменко, 2003). Многочисленные случаи быстрого образования пустот в геологической среде урбанизированных территорий (Кучуков и др., 2016), состоящей из техногенно-трансформированных материалов, свидетельствует о том, что уровень устойчивости многих из них к суффозионному разрушению весьма невысок и, вероятно, сравним с таковым у легко подверженных размыву природных геологических тел, типа лёссовых массивов (Лаврусевич и др., 2012). Недоучет данного фактора может стать причиной разрушения построек, а предотвращение развития опасных суффозионных процессов уже на этапе строительства сопряжено со значительными финансовыми затратами (Лаврусевич и др., 2015).

Кроме того, при повышении уровня грунтовых вод нередко происходит затопление подвальных помещений и нижних частей зданий, возникновение в них техногенных скоплений воды (Суздалева и др., 2015). Это может стать как причиной разрушения строений, так и ухудшения в них санитарно-гигиенических условий (Богомоллов и др., 2016). Так, проникновение из затопленных подвалов в расположенные над ними помещения влажного воздуха вызывает образование плесени на стенах и способствует развитию

ряда заболеваний у людей, постоянно или продолжительное время пребывающих в подобных жилых и рабочих помещениях. Например, в этих условиях отмечается развитие или обострение таких заболеваний, как нефрит, полиневрит, ангина, ревматизм, пневмония, катар верхних дыхательных путей, грипп. Кроме того, грибковое загрязнение, обусловленное высокой влажностью воздуха в помещениях, вызывает аллергию. Как отдельный фактор негативного воздействия на здоровье людей, обусловленный затоплением подвалов, следует рассматривать характерное для этих условий массовое развитие синантропных кровососущих комаров, которые, помимо прочего, являются переносчиками таких опасных заболеваний как филяриатозы и вирусные энцефалиты.

Геологическая среда центральных частей большинства современных городов сформирована из различного рода вторичных техногенных тел, как правило, отличающихся от естественных структур земной коры значительно меньшей стабильностью. Возведению объектов капитального строительства по периферии городов приводит к образованию зон первичной техногенной трансформации, для которых характерно разрушение целостности естественных массивов горных пород и возникновение различного рода реструктурированных техногенных тел. Все это также снижает устойчивость таких участков земной коры и повышает вероятность деформации оснований зданий и сооружений, которая может вызвать разрушение строительных конструкций. По этой причине в Москве в зоне так называемого геологического риска находится 48% городской территории (Теличенко и др., 2010). Для снижения этого риска предпринимаются специальные меры по укреплению фундамента путем повышения устойчивости его основания. Практическое решение данной задачи осуществляется несколькими различными способами, но это всегда сопровождается образованием в земной толще нового техногенного геологического тела или структуры.

Еще со времен раннего средневековья вплоть до середины XVIII в. для укрепления оснований фундаментов большинства возводимых на Руси каменно-кирпичных зданий применялась забивка в грунт дубовых свай (Пашкин, 1998). Их фрагменты сохранились вплоть до наших дней, а в образовавшихся после их разрушения каналах возникли образования, которые в совокупности можно рассматривать как древнюю техногенную геологическую структуру (Пашкин и др., 2003).

В настоящее время укрепление оснований в большинстве случаев осуществляется группой методов, называемых *инъекционными* (Пономарев, Винников, 2014). Они заключаются в закачивании под высоким давлением в толщу грунта или горной породы жидкости, которая затем затвердевая, прочно связывает частицы среды. В итоге образующееся техногенная геологическая структура (при больших масштабах – тело) приобретает свойства скального основания, в связи с чем его можно обозначить как *литофицированную техногенную геологическую структуру (тело)*. Наиболее распространенной разновидностью инъекционных методов является *цементация*. Данный геотехнический прием помимо связывания частиц рыхлых материалов (насыпных грунтов (техноземов), галечниковых отложений, средних и крупнозернистых песков) также используют для заполнения карстовых пустот, закрепления и уменьшения водопроницаемости трещиноватых скальных грунтов. Вглубь земли цементный раствор подается через специальные (буроинъекционные) скважины (рис. 6.14). В них вставляются трубы-инъекторы, через отверстия в нижнем конце которых цементирующий раствор распространяется в толще основания.

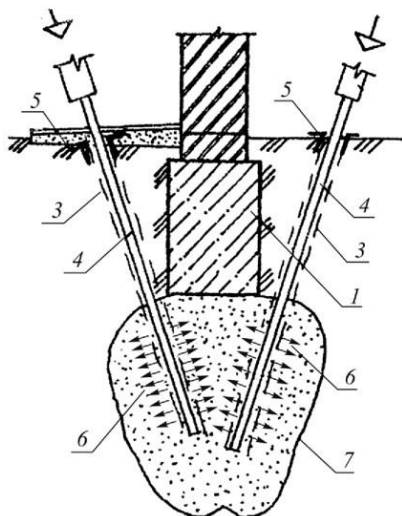


Рисунок 6.14. Схема закрепления грунтов методом цементации: 1 – существующий фундамент; 2 – вертикальная шахта; 3 – скважины (наклонные, горизонтальные); 4 – инъекторы для нагнетания растворов под высоким давлением (до 10 МПа); 5 – манжеты для поддержания давления; 6 – направление распространения нагнетаемых растворов; 7 – контуры упроченного грунта (твёрдого техногенного тела) (по Пономарев, Винников, 2014)

Для укрепления оснований применяется также **силикатизация грунтов**. Она осуществляется путем нагнетания в них силиката натрия в виде раствора (жидкого стекла), которым заполняется поровое пространство, а также специального вещества-отвердителя. В результате реакции этих компонентов образуется гель, твердеющий по прошествии времени, достаточного для пропитки им массива грунта или горной породы. В этих же целях использовался так называемый кубовый остаток (этилсиликат натрия) – отход производства кремнийорганических соединений.

Следующий метод закрепления оснований – это **смолизация**. Он заключается во введении в подземные слои различных

синтетических смол (карбамидных, фенолформальдегидных и др.), смешанных с отвердителями-кислотами или кислыми солями.

Для укрепления оснований также используются **методы глинизации и битумизации**. Первый из них применяется для снижения водопроницаемости песков (гидроизоляции оснований). Через буринъекционные скважины в песчаный грунт нагнетается водная суспензия бентонитовой глины. Ее частицы заполняют поры песка, в результате чего его водопроницаемость снижается на несколько порядков. Битумизацию используют для снижения водопроницаемости трещиноватых скальных пород. Для этого в них с помощью скважин нагнетается расплавленный битум или специальные битумные эмульсии, которые, охлаждаясь, закупоривают трещины.

Также используется **электрохимическое закрепление грунтов**. При использовании этого метода на терминальных концах труб-инъекторов, создается электропотенциал, превращающий их в аноды. По этим же трубам в грунт закачивают водные растворы солей многовалентных металлов. Создание подобных условий вызывает коагуляцию глинистых частиц с образованием агрегатов, сцементированных между собой гелями солей железа и алюминия. В результате резко возрастает прочность грунтов и существенно уменьшается их способность к набуханию.

При **термическом закреплении оснований** через грунт в течение нескольких суток пропускают раскаленный воздух или раскаленные газы (с температурой 300-850°C) (рис. 6.15). В результате термического воздействия происходит оплавление частиц некоторых содержащихся в нем минералов. При контакте с другими частицами грунта они образуют прочные водостойкие агрегаты. Помимо прочего, при обжиге грунты теряют значительную часть химически связанной воды, что значительно снижает или полностью ликвидирует свойственную им просадочность,

размокаемость, способность к набуханию. Метод термического закрепления применяется в нескольких различных модификациях. При наиболее распространенном варианте в толще основания образуется упрочненный массив грунта в форме конусообразного столба длиной 8-10 м и с верхним диаметром 1,5-2,5 м. Для укрепления основания в нем обычно создается группа подобных столбов, соприкасающихся между собой (рис. 6.16). Их общий объем может быть достаточно велик и в совокупности они могут рассматриваться как фрагментарное техногенное геологическое тело.

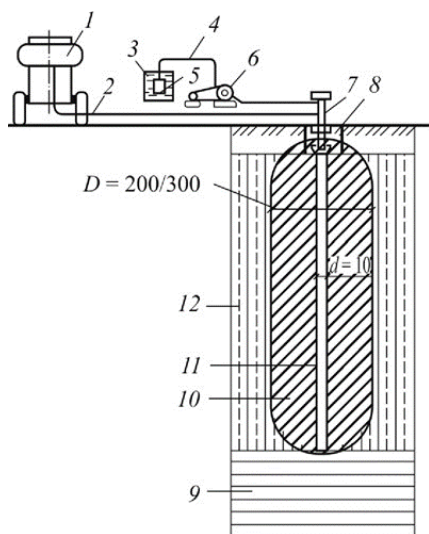


Рисунок 6.15. Установка для обжига просадочного грунта: 1 – компрессор; 2 – трубопровод для холодного воздуха; 3 – емкость для жидкого горючего; 4 – трубопровод для горючего; 5 – фильтр; 6 – насос для подача горючего под давлением в скважину; 7 – форсунка; 8 – затвор с камерой сгорания; 9 – непросадочный грунт; 10 – зона термического упрочнения грунта; 11 – скважина; 12 – просадочный лессовый грунт (по Пономарев, Винников, 2014)

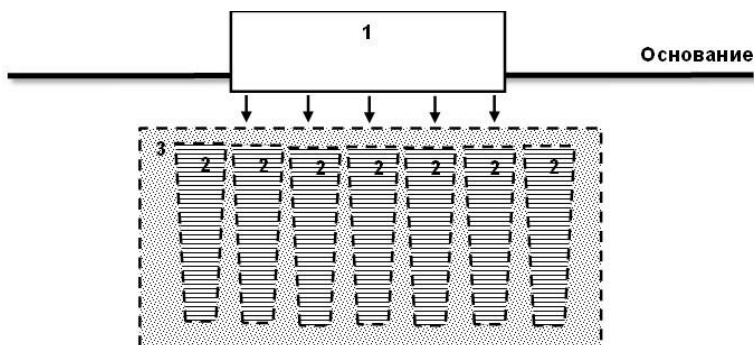


Рисунок 6.16. Схема образования фрагментарного техногенного геологического тела при термическом закреплении основания фундамента: 1 – фундамент; 2 – столбы обжига грунта; 3 – фрагментарное тело

Для укрепления оснований также используется **замораживание грунтов**. Его применение наиболее обосновано при возникновении опасных пьувунов. С целью замораживания грунта пробуриваются скважины, по которым циркулирует охлаждающий раствор, периодически проходящий через холодильные установки. В качестве него наиболее часто используется водный раствор хлористого кальция с температурой замерзания $-28 - -35^{\circ}\text{C}$. Замораживающие скважины располагают на расстоянии приблизительно в 1 м друг от друга. За два месяца под землей образуется сплошная, водонепроницаемая, прочная ледопородная стена. По аналогии с смерзшимися горными породами это образование можно рассматривать как **смерзшееся техногенное геологическое тело**. Максимальные затраты энергии требуются в период его формирования. В последующий период для сохранения подобного техногенного тела холодопроизводительность установок может быть снижена до 30-40% от первоначальной.

Особое значение укрепление оснований методом замораживание приобретает при возведении и безопасной эксплуатации построек в

условиях криолитозоны (Хрусталеv, 2000; Ибрагимов, Кроник, 2018). Дополнительную актуальность разработка и внедрения данных технологий приобретают в условиях происходящих глобальных климатических изменений, когда деградация многолетней мерзлоты на территории городов российского севера, в течение которого срока может привести к разрушению многих зданий и сооружений (Алексеева и др., 2007; Кроник, 2016; Порошина, 2018). Аналогичные катастрофические явления, ущерб от которых может составить сотни миллиардов долларов, ожидаются и в некоторых других странах (Шеин, Камнев, 2020).

6.5. ТЕХНОГЕНЕЗ ЛИТОСФЕРЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ (МЕТРОПОЛИТЕНА И ТОННЕЛЕЙ)

Строительство подземных транспортных коммуникаций в большинстве случаев затрагивает слои литосферы, находящиеся на глубине нескольких десятков метров. Эта деятельность практически всегда сопровождается образованием следующих видов техногенных тел (структур):

- массивов реструктурированных горных пород, окружающих подземные тоннели;
- скоплений трансформированных горных пород (техноземов), образующихся при заполнении пустот, возникающих при их прокладке;
- структур, формируемых в геологической среде подземных транспортных коммуникаций для ее укрепления (предотвращения оседаний земной поверхности, а также деформации и подземных сооружений).

На современном этапе строительство новых и реконструкция ранее существовавших транспортных коммуникаций нередко сопровождается прокладкой тоннелей, что позволяет преодолевать преграды и значительно сокращать маршруты перевозок. Но

наиболее интенсивно данное направление техногенеза литосферы развивается в мегаполисах. С одной стороны, это обусловлено ростом плотности населения урбанизированных территорий этого типа и занимаемых ими площадей. В этой ситуации возможности перемещения огромных людских масс по существующим поверхностным транспортным коммуникациям исчерпываются. С другой стороны, цена земельных участков, необходимых для строительства новых магистралей, соединяющих отдаленные друг от друга, но функционально связанные участки урбанизированных территорий весьма высока. Кроме того, это, как правило, требует сноса существующих на них строений, а, следовательно, выплат компенсаций их владельцем. Перемещение транспортных коммуникаций под землю позволяет решить данный комплекс проблем.

Первая линия метро начала работать в Лондоне еще 1863 г. (Главатских, Молчанов, 2006). С тех пор потребность в строительстве подземных транспортных коммуникаций постоянно возрастает, как и масштабы техногенеза литосферы, обусловленные этой деятельностью. В настоящее время лидером в данной области является Китайская Народная Республика (КНР). Строительство первого метрополитена в этой стране было начато много позже, чем в Западной Европе, США и СССР – лишь в 1965 г. (Космин, 2019). Но с тех пор китайское метро вышло на первое место в мире с большим отрывом от других стран. Общая протяженность линий метро в КНР превышает 2900 км, что в 2 раза превышает протяженность линий метро в США, занимающих второе место. В современной России, находящейся на седьмом месте, данный показатель составляет более 550 км. Но, несмотря на трудности в экономике, отечественное метростроение развивается быстрыми темпами. Только в Москве за последние годы проложены десятки километров новых линий метрополитена (Конюхов, 2019б). Таким образом, учитывая общемировую тенденцию роста площади и

населения крупных городов, можно сделать заключение, что строительство подземных транспортных коммуникаций становится одним из значимых факторов техногенеза литосферы. При этом следует обратить внимание на существование двух противоположных тенденций. С одной стороны, все большее развитие получают линии метро и тоннели мелкого заложения (глубиной до нескольких десятков метров), строительство которых, как правило, значительно дешевле. С другой стороны, решение логистических проблем все чаще требует создания транспортных путей глубокого и сверхглубокого заложения. Сейчас существуют тоннели, проложенные более чем в 500 м от земной поверхности. В КНР их уже создано несколько десятков (Космин, Меркин, 2020).

Характер воздействия подземных транспортных коммуникаций на окружающее их подземное пространство и наземные условия существенно различается на этапах их строительства и эксплуатации. При сооружении линий метро и тоннелей на урбанизированных территориях используются различные технологии, среди которых выделяют два основных способа: открытая и закрытая прокладка (Власов и др., 1987; Храпов и др., 1989; Главатских, Молчанов, 2006). В обоих случаях из прочных материалов (главным образом, железобетона) создаются коридоры, называемые **тоннельной обделкой** (обделкой тоннеля). Их основное предназначение заключается в обеспечении безопасных условий для передвижения транспорта, перевозящего людей и грузы. Поперечное сечение тоннельной обделки может иметь различную форму: округлую, прямоугольную, с круглым сводом, эллипсовидную и др. Различным может быть и количество параллельно прокладываемых транспортных путей, каждый из которых имеет отдельную тоннельную обделку.

В метрополитенах участки подземных путей, называемые **перегонными тоннелями**, перемежаются со **станциями**, на которых осуществляется перемещение людей и грузов с поверхности к

подземным транспортным коммуникациям и в обратном направлении. Таким образом, в упрощенно-схематичной форме метро можно представить как систему сообщающихся перегонных тоннелей, на которых через определенные промежутки размещены станции. Кроме того, для обслуживания подземных коммуникаций создаются система вентиляции, система водоотведения и различные подсобные сооружения. Перегонные тоннели ограждены от геологической среды тоннельной обделкой. Конструкция станций более сложна, но основным элементом и в данном случае является **обделка сооружений**, изолирующая помещения от окружающей их геологической среды.

При **открытом способе прокладки**, применяемом для строительства **подземных транспортных коммуникаций мелкого заложения**, блоки тоннельной обделки размещаются на дне специально вырытых котлованов (траншей) и соединяются в перегонные тоннели (рис. 6.17). Обратная засыпка котлованов осуществляется грунтами и горными породами, механически трансформированными при их рытье. Таким образом, открытый способ строительства метро и тоннелей неизбежно сопровождается образованием в геологической среде крупномасштабных техногенных тел, как правило, состоящих из насыпных техноземов. Борта котлованов в период строительства нередко закрепляются путем замораживания или закачки связующих реагентов. Кроме того, их создание может сопровождаться изменениями гидрогеологических условий, которые мы рассмотрим несколько позже. Результатом этих воздействий может стать образование реструктурированных тел и зон техногенного влияния на участки земной коры, расположенные вдоль прокладываемой подземной трассы.

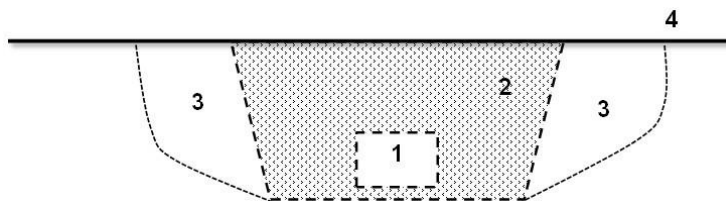


Рисунок 6.17. Схема прокладки подземных транспортных коммуникаций открытым способом: 1 – тоннельная обделка; 2 – насыпной технозем; 3 – зоны техногенного влияния; 4 – земная поверхность

В большинстве случаев открытый способ создания подземных транспортных коммуникаций применяется на еще незастроенных участках. Нередко они расположены в зоне периферийной первичной техногенной трансформации (см. рис. 6.3). Кроме того, открытым способом сооружаются выходы со станций метро и концевые участки тоннелей при их прокладке в рыхлых породах.

Закрытый способ используется для прокладки подземных транспортных коммуникаций, как правило, на большей глубине под существующей городской застройкой. Закрытым способом также осуществляется строительство подземных путей под водными объектами. Использование данного способа обычно сопровождается возникновением и/или расширением зоны глубинной первичной техногенной трансформации (рис. 6.3). При закрытом способе прокладки вначале тем или иным путем создается подземная выработка. Для этого нередко используются буровзрывные работы, приводящие к образованию в массивах горных пород техногенных реструктурированных тел. Также, как и при открытом способе прокладки, зона техногенной трансформации вокруг подземной выработки может возникать и в результате применяемого с целью ее укрепления замораживания массива горных пород, закачки в него связующих реагентов, изменения гидрогеологических условий. В созданной подземной

полости размещаются последовательно соединяемые блоки тоннельной обделки (рис. 6.18). Пространство между тоннельной обделкой и стенкой подземной выработки заполняется нагнетанием в него специальных тампонажных смесей (Маковский, 1985; Руководство ..., 2004).

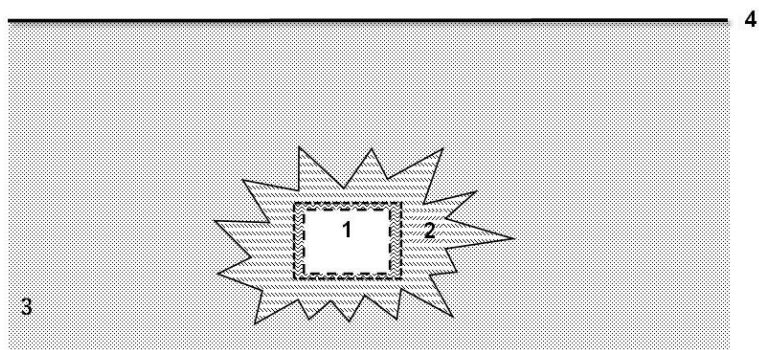


Рисунок 6.18. Схема прокладки подземных транспортных коммуникаций закрытым способом: 1 – тоннельная обделка, размещенная в подземной выработке; 2 – реструктурированное техногенное тело; 3 – массив горных пород; 4 – земная поверхность.

Как уже указывалось выше, значимым фактором техногенеза земной коры на этапе строительства подземных транспортных коммуникаций является изменение гидрогеологической структуры. Нарушение целостности водоупорных пластов сопровождается понижением уровня подземных вод в результате их стока в образующиеся при прокладке закрытым способом искусственные пустоты (рис. 6.19), а при отрытом способе – в котлованы. По этой причине при строительстве метро и тоннелей часто возникает необходимость откачки на поверхность больших объемов воды и их отвода в гидрографическую сеть. Так, при строительстве станции метро «Павелецкая» в Москве было откачено 16 млн м³ воды, а при возведении соседней станции «Таганская» – 55 млн м³ (Главатских,

Молчанов, 2006). В последующий период после гидроизоляции подземных сооружений происходит подъем уровня вод.

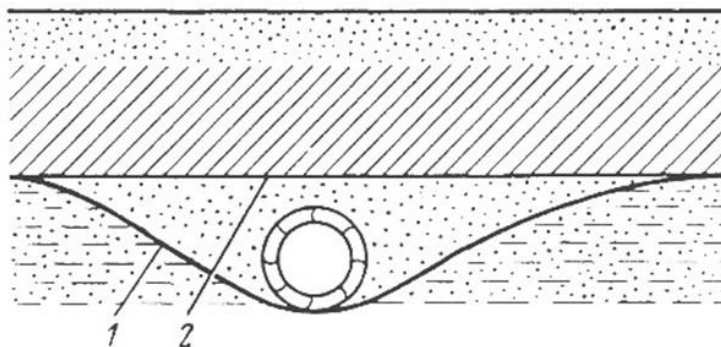


Рисунок 6.19. Положения уровня подземных вод при прокладке подземных транспортных коммуникаций: 1 – в процессе строительства; 2 – до его начала и после гидроизоляции транспортных коммуникаций (по Власов и др., 1987)

Строительство метро и тоннелей закрытым способом может сопровождаться образованием мульд проседания на земной поверхности, что создает угрозу деформации и разрушения расположенных на ней объектов (Котлов, 1977). Данный фактор имеет важнейшее значение и на этапе эксплуатации подземных транспортных коммуникаций. В современной Москве на один погонный километр линии строящегося метрополитена в среднем приходится 17-20 существующих зданий и сооружений (Конюхов, 2019). Возникающие при строительстве метрополитенов мульды проседания в определенной мере соответствуют контурам тоннелей и станций (Котлов, 1977). Ширина мульд над перегонными тоннелями обычно колеблется в пределах 40-200 м, а над станциями метро – от 160 до 300 м. По вертикали оседание поверхности в мульдах, образующихся при строительстве метрополитенов, существенно меньше, чем в районах подземных горных выработок

и, как правило, не превышает 1 м. Но в условиях плотной многоэтажной городской застройки подобные явления могут представлять серьезную опасность.

В период эксплуатации проседания земной поверхности над участками прокладки подземных транспортных коммуникаций могут быть обусловлены несколькими различными процессами (Харченко и др., 2019). Техногенные геологические тела, окружающие подземные транспортные коммуникации, значительно в большей степени чем массивы горных пород подвержены суффозионному разрушению. Оно резко усиливается при протечках из водопродонных и канализационных сетей. Процессы физико-химической трансформации техноземов и реструктурированных тел сопровождаются их уплотнением, чему способствует и увеличение статической нагрузки от объектов, возводимых на поверхности.

Разрушение наземных построек над линиями метро могут также происходить вследствие распространения в геологической среде вибрации, вызываемой движением поездов.

Данные факторы приобретают все большую значимость по мере стремительного увеличения масштабов сети подземных транспортных коммуникаций. В начале XXI века длина линий Московского метрополитена на 1 км² площади города в среднем составляла 0,26 км (Главатских, Молчанов, 2006). Но, учитывая мировые тенденции, уже в ближайшее время данный показатель, вероятно, возрастет в несколько раз. Например, в Лондоне на 1 км² городской территории протяженность линий метро составляет 1,21 км, в Париже – 2,8 км.

Для защиты наземных объектов от осадочных деформаций, способных вызвать образование мульд проседания, широкое распространение получает метод компенсационного нагнетания (Харченко и др., 2019). Он основан на нагнетании в рыхлые и пористые породы, залегающие над подземными транспортными коммуникациями, специальных инъекционных смесей через

пробуренные для этой цели скважины. Затвердевая, они формируют техногенную структуру, объем которой компенсирует смещение геологической среды, вызванное осадочной деформацией. Данная технология позволяет не только предотвратить оседание поверхности, но и осуществить ее подъем. В последнем случае целенаправленно создаваемая в толще земной коры техногенная геологическая структура выполняет роль своеобразного домкрата.

В ряде стран, где строительство метро осуществлялось еще в XIX веке и начале XX века возникают и проблемы, связанные с ***выводом из эксплуатации устаревших линий***. Так, первоначальная сеть линий Лондонского метро к настоящему времени на большинстве участков уже давно не функционирует. Часть ее подземных помещений превращена в объекты иного назначения (магазины, склады, автостоянки и др.), а перегонные тоннели законсервированы.

6.6. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОН

Несмотря на широкое распространение, понятие ***«промышленная зона (промзона)»*** не имеет четкого общепринятого определения. В самом общем смысле – это территория, занятая преимущественно производственными предприятиями. Первые промзоны появились в эпоху промышленной революции XVIII-XIX века, сопровождавшейся концентрацией производства. Но промышленные предприятия, особенно на первых этапах своего развития, требовали привлечения к работе на них значительного количества людей. По этой причине вплоть до середины XX века промзоны создавались либо в черте крупных городов, либо на новых местах, вокруг которых обязательно возникала жилая застройка с сопутствующей инфраструктурой.

Крупные производственные объекты, построенные в городах, как правило, становились причиной возникновения промышленных

зон города, включающих часть его жилой застройки. Территория этих районов постепенно приобретала достаточно четкие границы. Они возникали в результате экономической сегрегации населения. Люди, обладающие достаточными финансовыми средствами для выбора места проживания, не селились вблизи крупных предприятий, которые в течение многих десятилетий распространяли в окружающем их пространстве различные вредные вещества. Это проявлялось в заметном различии архитектуры зданий и особенностях планировки бедных промышленных районов и удаленных от них более престижных участков городской территории. По этой причине подобные промзоны можно обозначить как *локальные*. Расширение производства требовало расширения территории предприятий, что в условиях сплошной городской застройки (зоне вторичного техногенеза – см. рис. 6.3) часто было осуществить затруднительно по экономическим и социально-политическим причинам. Выход из ситуации обычно заключался в перемещении промышленного производства из центральных частей городов на их периферию (в зоны первичного техногенеза). Этому в немалой степени способствовало постоянное ужесточение природоохранных требований.

В число промзон можно включить также территории крупных транспортных предприятий – железнодорожные узлы, портовые территории и аэродромы. Их создание всегда сопровождается техногенной трансформацией значительного участка земной поверхности и ее загрязнением от различных вспомогательных объектов – предприятий по ремонту и техническому обслуживанию транспортных средств, складов горюче-смазочных материалов (ГСМ) и др.

В ряде случаев бурное развитие промышленности в относительно короткий срок охватывало несколько крупных населенных пунктов или обуславливала их возникновение (Мирасланов, Мавлянова, 2017). Таким образом, возникала *региональная промзона*, для

обозначения которой иногда используется термин **промышленный узел (промузел)** (Каверина и др., 2007; Кучумова и др., 2012).

Сходная с промзонами геологическая среда формируется также под некоторыми крупными военными объектами. Например, высокий уровень загрязнения поверхностных слоев отмечен на длительное время эксплуатируемых военных аэродромах и военноморских базах.

Трансформация геологической среды промзон происходит в тех же формах, что и на других участках урбанизированных территорий. Ее основными факторами являются загрязнение и засорение земной поверхности, изменение рельефа, замещение естественного почвенного покрова урбаноземами, строительство фундаментов и подземных сооружений, а также прокладка подземных коммуникаций. Характерной чертой промышленных зон является значительно более высокий уровень загрязненности геологической среды, чем у других видов урбанизированных территорий (Робертус и др., 2018). При этом негативные последствия загрязнения могут проявляться в течении весьма продолжительного времени после прекращения производственной деятельности. Основной причиной является распространение на участках бывших промзон **поллютоземов**, содержащих устойчивые к биоразложению и химическому распаду загрязнители, а также присутствие официально незарегистрированных захоронений отходов или отсутствие надлежащего контроля за состоянием их хранилищ. В большинстве случаев поллютоземы промзон представлены грунтами, пропитанными нефтепродуктами. Для их обозначения используются термины **нефтеземы** и **нефтепродуктовые почвы** (Герасимова и др., 2003). В грунтах и подземных водах промзон также нередко отмечается высокое содержание фенолов, тяжелых металлов и ряда иных опасных загрязнителей (Каверина и др., 2007; Мусин, Галиева, 2019). Их количество может быть весьма велико.

Так, масса ртути, поступившей с отходами в окружающую среду за время работы Акташского горно-металлургического предприятия (Республика Алтай), составляет более 400 т (Робертус и др., 2015). Источником загрязнения грунтов промзон также является процесс коррозии расположенных на их территориях многочисленных металлических конструкций (Янин, 2020).

Отмечены многочисленные случаи, когда загрязнители, накопившиеся в геологической среде бывших промзон, распространялись подземными водами и на прилегающие участки (Шпак, Наседкина, 2008).

Опасность может также представлять скрытое развитие нежелательных экзогенных геологических процессов, обусловленное техногенной трансформацией участков земной коры, на которой располагались промзоны. Так, с прекращением работы предприятий нередко также останавливается работа систем дренажа и водоотведения подземных вод. Результатом может стать подтопление подземных частей возводимых на этом участке новых зданий, разрушение оснований фундаментов, возникновение оседаний поверхности и даже образование провалов.

Наиболее распространенным видом негативного воздействия промзон на литосферу в настоящее время является фильтрация в ее поверхностные слои и накопление в них нефтепродуктов в результате утечек при эксплуатации различной техники. Их поток закономерно возрастает по мере старения основных производственных фондов предприятия (табл. 6.1). По прошествии 50 лет он может достигать 2% от объема их годового оборота. Нередко под промзонами формируются подземные линзы нефтепродуктов (рис. 6.20)⁷⁶.

⁷⁶По своей структуре они аналогичны линзам, образующимся под ранее описанными нефтепромысловыми телами (см. раздел 3.4).

Таблица 6.1. Объемы утечек на объектах хранения нефтепродуктов (по данным ОАО «Роснефть») (Хаустов, Редина, 2012)

Срок эксплуатации, лет	Величина потерь в процентах от годового оборота
0-5	0,1
5-10	0,2
10-20	0,3
20-30	0,5
30-40	1,0
40-50	1,5
более 50	2,0

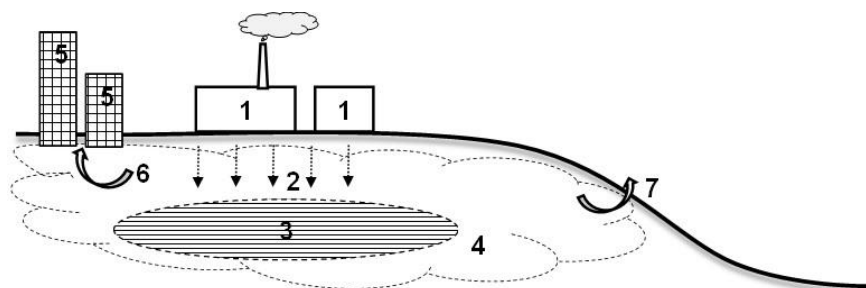


Рисунок 6.20. Накопление нефтепродуктов в геологической среде промзоны и распространение в ней загрязненных ими подземных вод: 1 – производственные объекты; 2 – фильтрация нефтепродуктов в геологическую среду; 3 – поземная линза техногенных углеводородов; 4 – зона химической трансформации массива горных пород, возникшая при распространение в нем углеводородов из линзы и фильтрации с поверхности промзоны; 5 – городская застройка; 6 – проникновение в подземные части зданий загрязненных нефтепродуктами вод; 7 – участок разгрузки загрязненных подземных вод.

Примером может служить Курская нефтебаза ООО «Курскоблнефтепродукт» (Сеймовский округ г. Курска), занимающая площадь 9,8 га и функционирующая с 1956 г. Она осуществляет прием, хранение, погрузку, транспортировку и реализацию нефтепродуктов (бензин, дизельное топливо, масла) с годовым оборотом более 200 тыс. т. Под ней и прилегающей частью городской территории сформировалась линза нефтепродуктов площадью 16-18 га и объемом около 30 тыс. м³ (Томаков и др., 2009). Она является мощным источником загрязнения подземных вод, с потоком которых происходит распространение нефтепродуктов на значительные расстояния. При этом происходит химическая трансформация окружающего массива горных пород. Таким образом, данную подземную линзу нефтепродуктов можно рассматривать как подповерхностное техногенное тело, постепенно формирующее вокруг себя комплекс сопряженных с ним новых техногенных тел.

Аналогичные явления описаны в районе г. Моздок (Северная Осетия), где под землей образовалось 5 линз, которые содержат от 9,7 до 12,5 тыс. т авиационного керосина (Зайцева и др., 2007). Причиной их возникновения явилось загрязнение грунтов на участке местного аэродрома. Но эти линзы представляют собой лишь центральную часть пятна загрязнения подземного пространства. Химическая трансформация горных пород проявляется на площади, превышающей 160 км². В ее пределах концентрация нефтепродуктов в подземных водах колеблется в диапазоне 10-168 ПДК.

Только на территории РФ в настоящее время существуют десятки подобных техногенных геологических тел (Усманов, 2017). Так, в подземном пространстве г. Саратов сформировались две техногенных линзы нефтепродуктов площадью 6 га и 140 га (Хаустов, Редина, 2012). Их источником являются утечки с территории Саратовского Нефтеперерабатывающего завода (НПЗ).

В грунтовых водах г. Иваново обнаружена плавающая линза керосина площадью 2 га, возникшая в результате утечек склада ГСМ воинской части.

Характерный для многих урбанизированных территорий подъем поземных вод и подтопление подземных сооружений вблизи промзон может сопровождаться проникновением в их помещения растворенных и эмульгированных нефтепродуктов. Испаряясь, эти органические соединения распространяются во внутренней воздушной среде надземной части зданий. Это создает угрозу для развития опасных заболеваний у находящихся в них длительное время людей. Данный фактор нередко создает затруднения при реновации бывших промзон.

В расположенных по периферии промзон сельских населенных пунктах углеводороды, содержащиеся в подземных водах, могут накапливаться в колодцах и иных подземных источниках хозяйственно-питьевого водоснабжения. Так, в подземных водах, которые являются основным источником водоснабжения г. Моздок, нефтепродукты обнаружены в количестве 2-42 ПДК (Зайцева и др., 2007). В местах разгрузки подземных вод углеводороды, накопившиеся в геологической среде промзоны, выходят на поверхность и могут являться источником загрязнения окружающей среды (Шпак, Наседкина, 2008).

6.7. КУЛЬТУРНЫЙ СЛОЙ (АНТРОПОГЕННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ)

Термин культурный слой первоначально возник в археологии и является одним из наиболее часто употребляемых в данной области. В последующий период он стал использоваться и в геологических исследованиях (Соколовский, 2006; Здобин, 2008). В настоящее время трактовка данного понятия носит весьма широкий характер и является предметом многочисленных научных дискуссий (Коробов, Борисов, 2018). В общепринятом смысле *культурный слой* – это

исторически сложившаяся система напластований, состоящая в основном из органических и строительных остатков, образовавшихся в результате деятельности человека (Авдусин, 1980). Нередко данному понятию дается еще более широкое толкование. Так, согласно определению в археологическом словаре, культурный слой – это совокупность поверхностных слоев земной коры, в которых присутствуют материальные следы существования человеческих поселений, в т.ч. остатки строений, потерянные вещи, сломанные инструменты и т.п. (Матюшин, 1996). С этой точки зрения культурным слоем можно считать любой грунт, в котором обнаружены археологические находки, указывающие на достаточно длительное проживание в данном месте людей. Антропогенное геологическое тело (структура), отличающееся по своему составу от окружающего массива горных пород, при этом может не образовываться.

Ряд исследователей рассматривал культурный слой как один из видов *искусственно созданных грунтов* и/или *антропогенно-измененных почв* (Саваренский, 1938; Котлов, 1977; 1978; Каздым, 2007). В некоторых случаях это приводило к излишне широкому пониманию данного термина. Например, к культурному слою относили отвалы заброшенных шахт (Горшков, 2001) и древнюю наскальную живопись (Здобин, 2008). Высказывалось даже мнение о целесообразности включения в понятие культурный слой всех антропогенных объектов от шахт и карьеров до слоев навоза в животноводческих фермах (Каменецкий, 2006). Согласно подобной трактовке, культурным слоем можно считать любые проявления человеческой деятельности, оставившие свой след на поверхности литосферы. Очевидно, что при описании техногенных тел данного вида в составе геологической среды столь широкое понимание термина создает значительные затруднения. По этой причине при исследовании проблем второй геологии, предметом изучения которой является техногенез литосферы, трактовка понятия

культурный слой должна носить иной характер⁷⁷ – это слой, образовавшийся в результате рассредоточенного накопления продуктов жизнедеятельности людей на участках длительно существующих их поселений, масштабы которого позволяют рассматривать его как отдельное геологическое тело (структуру).

В большинстве случаев, условия, необходимые для возникновения в земной коре подобных образований, возникали только в достаточно крупных населенных пунктах, существовавших на протяжении весьма длительного времени (не менее нескольких сотен лет).

В соответствии приведенным определением, понятие культурный слой во многих случаях можно рассматривать как синоним термина **городские антропогенные отложения**⁷⁸ (Новиков, 1976; Каздым и др., 2003). В районах старой застройки современных городов они достигают значительной мощности, например, в Киеве – до 36 м, в Москве – до 22 м, в Ташкенте – до 18 м, в Новгороде – до 14 м, в Саратове – до 12 м, в Сан-Франциско – до 23 м, в Лондоне – до 25, в Париже – до 20 м (Котлов, 1977).

Культурный слой практически никогда не состоит только из отходов человеческой жизнедеятельности. На начальном этапе он, как правило, формируется в результате непреднамеренного внесения антропогенных материалов в естественные почвы или грунты, которые в археологии в этом случае обозначаются как заполнители (Каменецкий, 1970). В последующий период в составе культурного слоя всегда присутствуют структурные элементы и

⁷⁷Приведенное определение не следует рассматривать как противоречащее классическому пониманию термина культурный слой, принятому в археологии. В данном случае – это определение культурного слоя, который представляет собой антропогенное геологическое тело (структуру).

⁷⁸ Следует отметить, что термин антропогенные отложения используется не только для обозначения тел, сформировавшихся на городских территориях. Например, Ф.В. Котлов (1977) относит к ним терриконы и горные отвалы.

включения естественного происхождения (частицы эродированных горных пород, погребенные почвы и др.). Нередко их доля столь велика, что их характер определяет текстуру культурного слоя, является его основой, средой, вмещающей материалы антропогенного происхождения (Коробов, Борисов, 2018). В этих случаях он, например, описывается как песчанистые и глинистые антропогенные отложения, или в нем выделяют прослой супеси, суглинка, погребенной почвы и т.п. (Долгих, Александровский, 2010; Буланкин и др., 2010). В современных городах большая часть сохранившегося культурного слоя находится под асфальтобетонными покрытиями. Кроме того, в процессе вертикальной планировки поверх него может быть сформирован слой урбанозема того или иного вида.

Культурные слои отдельных городов и даже районов одного и того же города могут существенно различаться по особенностям своего генезиса, структуре, составу и мощности. Кроме того, они подвержены физико-химической, биологической и механической трансформации, обусловленной как внутренними факторами (например, бактериальным разложением органических веществ), так и внешними воздействиями (размыв, переотложение, разрушение при рытье котлованов и траншей и т.п.). Существует ряд классификаций, позволяющих выделить ряд видов и разновидностей культурного слоя (Александровский, 2018; Сычева и др., 2018). Большинство выделяемых в них категорий объектов позволяет рассматривать их как антропогенные, природно-антропогенные или антропогенно-техногенные геологические тела (структуры). На рисунке 6.21 представлена гипотетическая структура культурного слоя значительной мощности, в которой схематично обобщены материалы археологических исследований, проведенных в древних русских городах (Буланкин и др., 2010; Долгих, Александровский, 2010; Торопова, Воронков, 2011; Макаров и др., 2014).

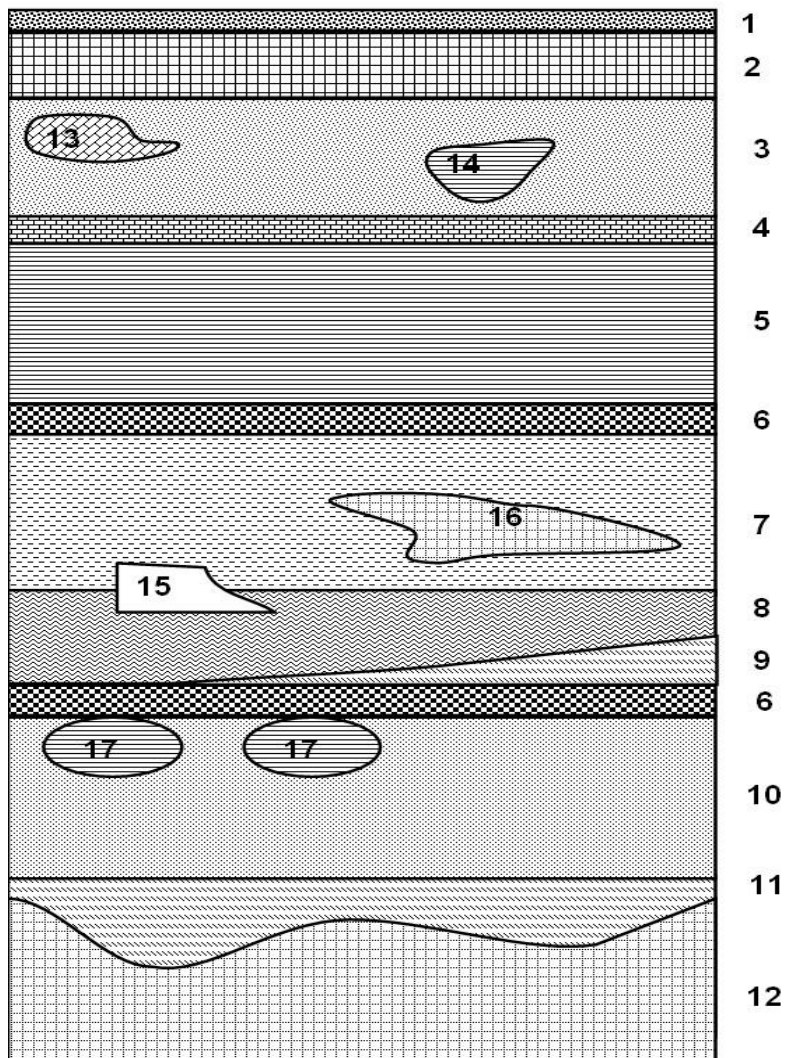


Рисунок 6.21. Обобщенная схема структуры культурного слоя в центральных частях древних российских городов (описание слоев и включений, обозначенных цифрами, приведены в тексте)

Гипотетическая структура культурного слоя могла включать следующие слои и включения:

- современные поверхностные образования: асфальтобетонное покрытие (1) и слой насыпного технозема, сформированный при вертикальной планировке территории (2);
- верхний горизонт культурного слоя (3) – охристо-бурый сухой каменистый суглинок с техногенными и антропогенными включениями, например, скоплениями битого кирпича (13) и засыпанной свалкой бытовых отходов (14);
- погребенная каменная мостовая (4);
- темный суглинок со значительным содержанием печной золы и фрагментов керамики (5);
- слои угля и обугленных (оплавленных) материалов, возникшие в результате периодически повторяющихся городских пожаров (6);
- остатки оборонительного вала из привозной глины (7) с фрагментами каменных сооружений (15) и включениями каменной наброски (16);
- серый гомогенный влажный суглинок с остатками пней и древесных корней, образовавшийся во время временного запустения территории (8);
- погребенный огородный горизонт, существовавший длительный период на участке сгоревшей застройки (9);
- темно-серобурый влажный суглинок с древесной щепой, образовавшийся в начальной период формирования поселения (10), в котором сохранились фрагменты нижних частей бревенчатых построек (17);
- древний пахотный горизонт (11);
- подстилающий массив горных пород (12).

Структура культурного слоя на конкретных участках человеческих поселений может принципиально отличаться от приведенной обобщенной схемы. Нередко его значительная часть уничтожается в ходе заложения фундаментов современных зданий

и вертикальной планировки городской территории. Но несмотря на многообразии городских культурных слоев (антропогенных отложений), им свойственен ряд нижеследующих общих черт (Леонтьев, 1985; Кайданова, 1992; Каздым, 2000; Александровская, Александровский, 2003; Долгих, Александровский, 2010).

1. Присутствие значительного количества минеральных и органических частиц, являющихся продуктами разрушения различных хозяйственно-бытовых и строительных отходов, а также техногенных и антропогенных включений (битого кирпича, осколков черепицы, обломков костей животных, скорлупы, древесных волокон, утративших всхожесть семян и др.).
2. Стратификация, обусловленная особенностями характера жизнедеятельности населения в отдельные исторические периоды или какими-то событиями (пожарами, наводнениями, периодами запустения и т.п.).
3. Повышенное, а во многих случаях аномально высокое (по сравнению с кларковым числом) содержание ряда элементов, таких как свинец, кадмий, никель, медь, цинк, фосфор, кальций, железо, магний, марганец. Следует обратить внимание, что подобные явления отмечены и для антропогенных отложений городов древнего мира.
4. Щелочная реакция (рН до 9), обусловленная использованием при строительстве большинства городов карбонатосодержащих строительных материалов (известняка, бетона, цемента и др.).
5. Фоссилизация (окаменение) органических остатков и специфические процессы минералообразования.

6.8. Поля фильтрации (орошения) и иловые площадки городской канализации

При увеличении населения городов и занимаемой ими площадей неизбежно возникала проблема выведения из них продуктов

жизнедеятельности людей. Ее решение осуществлялось двумя основным путями: строительством проточной канализации, сбрасывающий нечистоты в водные объекты, преимущественно в реки, протекающие через город, и периодическим их вывозом за пределы города, где они размещались на специально отведенных для этой цели участках.

Первый из этих способов практиковался еще в Древнем Риме (Беляков, 1998), и во многих других городах на протяжении длительного исторического периода (Суздалева, Горюнова, 2018). Так, по свидетельству известного русского журналиста и писателя В.А. Гиляровского, московские домовладельцы конца XIX века отводили нечистоты в заключенную в трубы р. Неглинку, являющуюся притоком р. Москвы. Это неизбежно приводило к сильному ухудшения качество вод в гидрографической сети и резко обостряло другую важную урбанизационную проблему – водоснабжение городов. Устье р. Темзы в районе Лондона в XVIII-XIX веках настолько была загрязнено фекальными стоками, что население города предпочитало не использовать ее для удовлетворения своих хозяйственно-бытовых нужд. Чтобы избежать кишечных заболеваний его жители, включая маленьких детей, в викторианскую эпоху даже в бедных семьях вместо воды вынуждены были пить пиво (эль), нередко тратя на это последние деньги (Диттрич, 2007). Подобная ситуация существует в ряде регионов и в настоящее время и обозначается как ***институциональный водный дефицит***⁷⁹.

Желание избежать возникновения подобной ситуации придавало все большую значимость другому способу отвода

⁷⁹ Подобные острые социальные кризисы возникают, когда население не может пользоваться имеющимися в его распоряжении водными ресурсами из-за неправильных действий или бездействия властных структур (ФАО, 2012).

продуктов жизнедеятельности населения городов. Первоначально это осуществлялось в форме так называемого сброса сточных вод «на рельеф». Для этого использовались различные неудобья в форме понижений местности, расположенные вблизи городской черты, которые могли накапливать нечистоты, задерживая их сток в водные объекты. Например, для этого использовались заболоченные низины. Так, первая очередь Московской городской канализации, построенная в конце XIX века, выводилась в обширное Чагинское болото. Впоследствии это место стало именоваться Люблинскими *полями фильтрации*. Такое название участки, предназначенные для размещения на земной поверхности канализационных стоков, получили поскольку предполагалось, что значительная часть органических загрязнителей, содержащихся в городских сточных водах, проходя через верхние слои почвы, будет разлагаться, благодаря процессам самоочищения (Гудков, 2002)⁸⁰. В реальности количество поставляемых на поля фильтрации фекальных и иных сточных вод значительно превышало возможности их самоочищения.

Распространение огромного объема городских канализационных стоков не могло быть ограничено только естественными особенностями рельефа. Поэтому обычно по мере своего развития поля фильтрации превращались в систему карт, которые представляли собой бассейны, глубиной менее 1 м⁸¹. Каждая карта создавалась либо как углубление на поверхности земли, либо ее участок огораживался по периметру земляными (грунтовыми)

⁸⁰ На современных полях фильтрации для интенсификации процессов самоочищения иногда осуществляется периодическое перепахивание и иные мероприятия. Но в первых полях фильтрации, сформировавшихся вблизи крупных городов, возникающие масштабные антропогенные тела – осадок сточных вод и подстилающий его грунт не перерабатывались.

⁸¹ Бассейн для очистки сточных вод глубиной более 1 м обычно обозначается как отстойник.

насыпями. Формирование в них скоплений продуктов жизнедеятельности населения осуществлялось благодаря работе инженерно-технических систем, отводящих хозяйственно-бытовые стоки. По этой причине тела, образовавшиеся на полях фильтрации, следует рассматривать как антропогенно-техногенные.

Часть содержащейся в составе городских нечистот воды, проникая под землю, загрязняла подземные воды и массивы горных пород, в которые они проникали. Данный процесс исследован недостаточно и оценить его геоэкологические последствия затруднительно. Однако, учитывая огромные площади в течение многих десятков лет, занимаемых полями фильтрации, можно предположить, что масштабы формирующихся под ними зон физико-химической трансформации и изменения гидрогеологических условий весьма значительны. Так, на Люблинские поля фильтрации за период их эксплуатации (1892-1985 гг.) в жидкой и пульпообразной форме поступило свыше 1,5 млн м³ осадка сточных вод (Томс, 2009). Вместе с тем, следует отметить, что на частицах подстилающего грунта при сбросе хозяйственно-бытовых сточных вод обычно образуется так называемая биопленка, состоящая из бактерий и грибов, а также выделяемой слизи. Она затрудняет просачивание воды в нижележащие горизонты. Кроме того, мелкие фракции взвеси, присутствующие в сточных водах, обуславливают кольматаж подстилающих грунтов⁸². Но, вероятно, общий объем фильтрата, поступившего в подземные слои, даже в этих условиях был достаточно велик вследствие огромного количества стоков, сброшенных на эти поля.

⁸² В данном случае под кольматажем подразумевается заполнение мелкими частицами пор этих грунтов, значительно повышающее их гидроизоляционные свойства.

Твердая фракция городских стоков, состоявшая главным образом из фекалий, формировала на полях фильтрации мощный слой осадков, органическое вещество которого в основной массе не успевало разложиться и накапливалось в течение длительного времени, образуя антропогенно-техногенное геологическое тело, которое можно отнести к категории селитибных. Изготовление из осадков сточных вод органических удобрений в большинстве случаев могло только снизить скорость их накопления. Кроме того, возрастающее применение препаратов бытовой химии сделало их непосредственное использование в сельском хозяйстве экологически опасным и требовало более глубокой обработки.

Поля орошения отличались от полей фильтрации тем, что на поверхности осадка сточных вод осуществлялась культивирование растений. Это повышало интенсивность процесса биологической очистки, но требовало снижения потока сточных вод. Если целью этой деятельности было получение сельскохозяйственной продукции, то подобные объекты обозначались как **земледельческие поля орошения** (ЗПО) (Пестряков, Шевелев, 1981; Овцов, Элик, 1998; Гарипова, 2006). Аналогичные объекты, главным предназначением которых является биологическая очистка сточных вод, называют **коммунальными полями орошения**. В ряде стран поля орошения создавались одновременно с полями фильтрации или даже ранее. Так, в Великобритании коммунальные поля орошения появились уже в 1865 г., во Франции – в 1872 г., в Германии – в 1876 г., в Индии – в 1877 г. (Гостищев и др., 2016). Слой твердых осадков на полях орошения, как правило, был значительно менее мощным чем на полях фильтрации. Вместе с тем, учитывая его протяженность и мощность подстилающего грунта, подвергнувшегося физико-химической трансформации при заливке сточными водами, их можно рассматривать как отдельные антропогенно-техногенные тела, формирующие участок земной коры.

Основным затруднением при организации полей орошения была необходимость распределения осадка сточных вод относительно тонким равномерным слоем, а также их дозированным поступлением. Сточные воды должны были не растекаться по поверхности площадок, а орошать их. Это требовало многократного увеличения площадей сброса сточных вод и их технического обустройства. Для относительно небольших населенных пунктов подобный путь был приемлем, но для крупных городов нереален. Поэтому, вплоть до второй половины XX века, преобладала организация полей фильтрации, наряду со сбросом неочищенных фекальных стоков водные объекты⁸³.

Нередко увеличение потока хозяйственно-бытовых сточных вод требовало изменения характера терминалов городских канализационных систем уже в процессе их эксплуатации. Так, начавшая работать в 1898 г. 1-я очередь московской канализации сбрасывала стоки на Люблинские поля орошения. Они использовались в качестве удобрения для произрастающих на них растительности. Но в 1914 г. по причине роста объема этих стоков данные поля орошения были превращены в поля фильтрации, т.е., по существу, в накопители осадков сточных вод. Это неизбежно приводило к увеличению мощности формирующихся в них антропогенно-техногенных тел.

Даже на расстоянии нескольких километров от полей фильтрации и орошения ощущался неприятный запах, в воздухе присутствовали аэрозоли, содержащие болезнетворные микроорганизмы. Ухудшению санитарно-эпидемиологической ситуации способствовало массовое размножение в районах их

⁸³ В настоящее время в качестве таких объектов, в отличие от предшествующих эпох, используются не реки, а прибрежные морские акватории, что становится одним из значимых факторов их техногенеза, в т.ч. нарушения естественной седиментации, формирующей донные отложения (см. Главу VIII).

размещения организмов-переносчиков инфекций (некоторых видов насекомых, птиц и грызунов). По этим причинам во второй половине XX века в развитых странах вместо полей фильтрации и орошения стали создаваться очистные сооружения закрытого типа.

При выводе из эксплуатации полей фильтрации (орошения) полная ликвидация накопленного в них осадка сточных вод и химически трансформированных грунтов, расположенных под ними, в большинстве случаев представляет собой нереальную задачу. Поэтому подобные тела нередко просто засыпались слоем привозного грунта, на поверхности которого осуществлялись различные мероприятия по биологической рекультивации. Затем на участках подобных реплантоземов в одних случаях обустроивались скверы и места массового отдыха, в других случаях они включались в территорию городской застройки.

Массы захороненных и/или запечатанных осадков сточных вод бывших полей фильтрации (орошения) продолжают подвергаться микробиологической трансформации, сопровождающейся выделением газообразных продуктов, главным образом метана (Лебедев и др., 2008; Шамаев и др., 2017). Возникает угроза эмиссии этих вредных для здоровья газов в подземные части построенных объектов.

Формирование антропогенно-техногенных тел (структур) может также происходить при эксплуатации **иловых площадок**. Эти объекты входят в состав большинства очистных сооружений систем городской канализации (Туровский, 1982). Основная цель их создания заключается в организованном хранении и обработке их отходов для последующей утилизации. Интенсивная биологическая очистка канализационных вод в аэротенках, метантенках и иных видах оборудования, предназначенного для этой цели, сопровождается образованием осадка, состоящего главным образом из неразложившихся органических соединений и микроорганизмов, который обозначается как ил. Его рассматривают как вторичный

отход (первичными отходами в данном случае являются канализационные стоки), периодически изымают из очистных устройств и размещают на иловых площадках.

Обработка осадка сточных вод на иловых площадках, прежде всего, включает уплотнение осадка и изъятие из него воды, путем ее слива, испарения с поверхности ила в процессе его отстаивания (расслоения) или отфильтровывания жидкой фазы с помощью дренажных систем. Кроме того, на иловых площадках осуществляется стабилизация осадков, под которой подразумевается контролирование хода процессов их микробиологического разложения, позволяющее предотвратить загнивание скапливающегося материала. Данная цель достигается созданием условий для интенсивной минерализации органического вещества микроорганизмами, например, путем их подогрева, введением специальных реактивов и рядом других способов (Туровский, 2008).

Важной задачей также является обеззараживание осадков. На практике в большинстве случаев это обеспечивается соблюдением сроков хранения иловых осадков, в течение которого большая часть содержащихся в них патогенных организмов должна погибнуть. Используются и иные методы, например, хлорирование, но, как правило, санитарно-эпидемиологический риск использования илов после их обработки сохраняется (Дрегуло и др., 2016).

Утилизация осадка может осуществляться различными способами, из которых наиболее распространены сжигание (использование как биотоплива) и внесение в почву в качестве удобрений. Так, в США и Канаде в качестве удобрения используется 30% осадков сточных вод как удобрение, в Великобритании – около 40%, во Франции – 60%, в Германии – 40% (Новикова, 2015). Однако внедрение в практику многочисленных технологий, разработанных в этой области, во многих случаях экономически нецелесообразно. Так, стоимость энергии, получаемой таким образом слишком

велика, а использование в сельском хозяйстве требует дополнительных затрат на уничтожение спор патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов, способных длительное время сохраняться в окружающей среде (Суслов и др., 2011).

Площадки для накопления и обработки осадков очистных сооружений могут иметь различную конструкцию (Туровский, 2008; Калимуллина, Багаутдинов, 2016). В России наиболее распространены иловые площадки на естественном основании каскадного типа с отстаиванием и поверхностным удалением воды (Веригина, 2014). Они включают ряд последовательно соединенных рабочих карт, представляющих собой вырытые на поверхности земли бассейны глубиной 2,5 метра. Количество карт в каскаде на иловых площадках может варьировать в широких пределах (от 4 до 17). Ил подается в виде пульпы и самотеком проходит через рабочие карты, в которых происходит осаждение твердой фазы. Большая часть жидкой фазы доходит до конца каскада (водяной карты), где подвергается так называемому окончательному осветлению, т.е. отстаиванию в течении времени, достаточного для выпадения большей части оставшейся взвеси. После этого вода, очищенная до нормативных показателей, сбрасывается в водные объекты. Из иловых площадок с естественным основанием (т.е. дно которых не покрыто гидроизолирующими материалами) происходит фильтрация жидкостей в подстилающие их грунты. В результате происходит химическое и микробиологическое загрязнение подземных вод.

Периодически сброс стоков в каскад останавливается, и накопившийся в рабочих картах осадок подсыхает. Предполагается, что в это время рабочие карты на иловых площадках должны освободиться путем отправки уплотненного (подсушенного) осадка на утилизацию (Воронов, Яковлев, 2006). Но по причине недостаточной востребованности обработанного осадка (из-за трудностей внедрения технологий его использования) нередко

происходит его накопление, вызывающее необходимость сооружения новых иловых площадок. Занимаемая ими площадь может составлять десятки гектар.

В этой ситуации определенная часть осадков, сформировавшихся на иловых площадках, захоранивается, формируя отдельную категорию антропогенно-техногенных тел (структур). Следует отметить, что по своему составу осадки иловых площадок могут существенно отличаться от таковых на полях фильтрации (орошения), поскольку они образуются из канализационных стоков, прошедших обработку. Важную роль играет стабилизация илов, осуществляемая на площадках. Она обеспечивает их устойчивость против загнивания после захоронения. Это снижает риск эмиссии вредных газообразных веществ и поступления загрязнителей в подземных воды из тафономированных илов.

6.9. АГРОПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕЛА

На современном этапе тела данного вида слагают значительную часть поверхности суши и в ряде случаев участвуют в формировании подповерхностных слоев земной коры. Агропромышленные тела и структуры возникают как результат взаимодействия человеческой деятельности и природных процессов, приводящего к образованию почв и почвоподобных тел, отличных по своим свойствам от естественных. Особую значимость в их формировании играет жизнедеятельность почвенных бактерий и грибов. Так, только 1 г чернозема может содержать десятки миллиардов клеток микроорганизмов, а их общая сухая масса на площади в 1 га способна достигать 60-65 тонн (Полянская и др., 1995). Их жизнедеятельность определяет многие свойства агропромышленных тел и протекающие в них процессы. Важную роль в их формировании также играют культивируемые растения и некоторые животные. Так текстура почвы и ее химизм во многом

зависят от типа корневой системы отдельных видов сельскохозяйственных культур и характера ее взаимодействия с окружающей средой. Дождевые черви, проделывая в поверхностном слое земли многочисленные ходы, способствуют его аэрации. Люди используют способность растений и ассоциированных с ними организмов влиять на свойства почвы путем организации севооборотов, т.е. закономерного чередования разных сельскохозяйственных культур, выращиваемых на одном том же участке. Их эффект заключался не только в профилактике массового развития вредителей, поедающих только определенную сельскохозяйственную культуру. Севообороты препятствовали снижению плодородия почвы⁸⁴, а в ряде случаев и интенсивность ее эрозии. По этим причинам агропромышленные тела следует отнести природно-техногенным.

Вместе с тем, покрывающие земную поверхность почвы и грунты, вовлеченные в сферу человеческой деятельности, рассматриваются как часть геологической среды (Сергеев 1979; 1982) и, следовательно, могут считаться одной разновидностей составляющих ее тел. Следует также вспомнить, что почвенный покров возник в результате совокупности процессов гипергенеза выходящих на земную поверхность горных пород, получивших в почвоведении название материнских⁸⁵, их трансформации живыми организмами, а также накопления на земной поверхности продуктов жизнедеятельности растений и животных (Белицина и др., 1988; Ковриго и др. 2000). Как указывал еще в 1901 г. основоположник научного почвоведения В.В. Докучаев (2020), почва «есть функция

⁸⁴ Например, благодаря жизнедеятельности бактерий-азотфиксаторов, развивающихся как симбионты на корнях бобовых растений, атмосферный азот превращается в соединения, усвояемые растениями.

⁸⁵ Горная порода, залегающая под материнской, называется подстилающей (Кауричев, Гречин, 1969).

(результат) от материнской породы (грунта), климата и организмов, помноженная на время».

Таким образом, состав и структура почв во многом определяются характером материнских горных пород, на базе которых они сформировались. Эти горные породы и рассматриваются как один из горизонтов почвенного покрова. Характер материнских пород во многом определяют и плодородие тех или иных видов почв, а также методы их использования в сельском хозяйстве. В настоящее время данные вопросы стали предметом изучения отдельной научной дисциплины – сельскохозяйственной геологии (Борголов, 2000).

Еще в глубокой древности обширные участки почвенного покрова сформировались под прямым или косвенным воздействием человеческой деятельности. Так, по мнению Л.Н. Гумилева (2007), интенсивная эрозия почв, вызванная ведением предками инков примитивного (так называемого «мотыжного») земледелия в верховьях р. Амазонки, привела к отложению мощных наносов в нижних частях ее бассейна. Подпруживание стока этой реки и стало причиной возникновения огромного участка заболоченных почв – амазонской сельвы, которая в том случае, если высказанная Л.Н. Гумилевым гипотеза верна, представляет собой результат одного из первых этапов техногенеза окружающей среды – аграрного техногенеза (Суздалева, Горюнова, 2014).

Состав, текстура и структура всех видов почв, используемых или использовавшихся человеком для получения сельскохозяйственной продукции, приобретают новые черты, первоначально несвойственные им. В них появляются различные аллохтонные компоненты (удобрения, агроруды), нарушается стратификация, снижается устойчивость к водной и воздушной эрозии, изменяется способность удерживать влагу, а также характер газообмена с атмосферой (Суздалева, Горюнова, 2017). По этой причине они, как и любые другие виды техногенных и природно-техногенных тел,

входящие в состав литосферы, могут рассматриваться как предмет изучения второй геологии.

По особенностям генезиса можно выделить три наиболее распространенные разновидности агропромышленных тел (структур):

- агротехнические;
- агромелиоративные;
- агроаккумулятивные.

Агротехнические и **агромелиоративные тела** целенаправленно создаются как площади, предназначенные для выращивания пищевых и кормовых растительных культур (табл. 6.2). В обоих случаях результатом является создание **агрочув**⁸⁶ (Лебедева и др., 2008). Их отличительной чертой является наличие созданного в процессе человеческой деятельности поверхностного плодородного горизонта (агروهоризонта). Нижележащие слои почвенного покрова в той или иной мере сохраняют свой естественный облик, хотя также подвержены техногенной трансформации.

Агрочув как любые другие типы почвенного покрова представляют собой целостные образования, состоящие из нескольких взаимодействующих слоев. Поэтому с позиции второй геологии они рассматриваются как стратифицированные природно-техногенные геологические тела, формирующие верхний слой земной коры.

⁸⁶ В научной литературе также употребляется близкий по значению термин **агроземы** – почвы, сильно преобразованные в результате длительной распашки, применения удобрений и др. агротехнических мероприятий. Для них характерен однородный поверхностный (пахотный) горизонт мощностью более 25 см.

Таблица 6.2. Основные разновидности агропромышленных тел (структур)

Разновидности агропромышленных тел (структур)	Характер деятельности по их формированию	Использование или предназначение	Размещение в геологической среде
Агротехнические	Обработка агропочв (формирование акрогенных почв)	Выращивание сельскохозяйственных культур	Поверхностное природно-техногенное тело – агропочва
Агромелиоративные	Мелиорация почв (формирование мелиогенных почв)	Выращивание сельскохозяйственных культур	Поверхностное природно-техногенное тело – агропочва
Агроаккумулятивные	Накопление отходов сельского хозяйства	Избавление от сельскохозяйственных отходов путем их захоронения	Подповерхностные природно-техногенные структуры

Различие агротехнических и агромелиоративных тел заключается в способе их превращения в субстраты, пригодные для растениеводства. Первые из них создаются на участках, почвенные условия которых изначально по своим свойствам подходят для выращивания сельскохозяйственных культур. Получение урожая требует уничтожения других видов растений и улучшения структуры верхнего слоя земли, повышения его плодородия. Такие почвы, трансформированные в процессе земледельческой деятельности (обработки человеком, внесение удобрений и агропуд) называют *агрогенными* (Кауричев, Гречин, 1969).

Обработка почв носит многоплановый характер. Она включает механическую трансформацию верхнего слоя земли при помощи

технических средств и орудий с целью создания оптимальных условий для развития выращиваемых растений, а также борьбу сорняками, защиту почвы от эрозии (Баздырев и др., 2000). Обработанная почва представляет собой рыхлое полифазное тело. Его текстура создается с целью формирования оптимального баланса и равномерного размещения твердой фазы, а также мелких полостей, заполняемых газообразными веществами и водой.

В качестве отдельного вида агропочв иногда выделяют **акваземы** – почвы рисовых полей, обработка которых включает периодическое затопление, что приводит существенной трансформации их состава и структуры (Шишов и др., 2004).

Периодический сбор урожая сельскохозяйственных культур приводит к обеднению почв химическими элементами, входящими в состав синтезируемых растениями органических веществ. Для сохранения плодородия необходимо восполнять их запасы в почве. Это осуществляется в форме внесения удобрений и агроруд. На практике четко разграничить эти понятия в ряде случаев затруднительно. **Удобрения** – это неорганические и органические вещества, специально созданные для повышения плодородия почв. Они содержат элементы, в которых растения нуждаются в наибольшей степени (азот, фосфор, калий), а также микроэлементы (железо, марганец, цинк, бор, молибден, кобальт, медь, сера и др.), потребляемые в значительно меньшем количестве, но играющие не меньшую роль в жизни растений.

Термин **агрономические руды (агроруды)** был введен еще в начале 20-х годов XX века Я.В. Самойловым (1921) и вскоре получил достаточно широкое распространение (Агрономические руды ..., 1932; Гиммельфарб, 1938). Агрорудами одновременно считались как горные породы, используемые в качестве сырья для получения минеральных удобрений, так и горные породы, непосредственно вносимые в почву для улучшения ее свойств. Но в последнем случае

они также должны были подвергаться механической обработке (измельчению) и, следовательно, могли рассматриваться и как удобрение. Вместе с тем, другие удобрения не имеют предшественников-агроруд. К ним, например, относятся компост, навоз, а также искусственно синтезированные нитратные и аммиачные соединения.

В настоящее время термин агроруды в большинстве случаев понимается в узком смысле как горные породы, вносимые в почву для улучшения ее свойств. Широкое использование агроруд дает дополнительное основание рассматривать возделывание почвы как одну из форм техногенеза литосферы. Поэтому исследование их воздействия на агропочвы является еще одним предметом изучения сельскохозяйственной геологии (Борголов, 2000).

Также как и удобрения агроруды подразделяют на органические и минеральные (Семендяева и др., 2011). К первым относятся торф, сапропель и озерные биогенные илы. Эти природные материалы причисляют к категории полных агроруд, поскольку в их составе одновременно присутствуют все химические элементы, необходимые для роста растений.

Минеральные агроруды по своему химическому составу делятся на следующие основные категории: азотнокислые, фосфорнокислые и калийные. Наиболее известным видом азотнокислых руд является натриевая или чилийская селитра (нитрат натрия NaNO_3 в смеси другими солями и глиной). В естественных условиях необходимые растениям нитраты образуются при окислении нитрифицирующими бактериями азотсодержащих органических веществ. Значительные естественные залежи натриевой селитры встречаются редко. Кроме того, ее добыча, как правило, экономически нецелесообразна, поскольку азотные удобрения, полученные с использованием технологии промышленной фиксации атмосферного азота (синтеза аммиака, при последующем окислении которого можно получить нитраты), значительно

дешевле. К фосфорнокислым агрорудам относят такие горные породы как апатиты, фосфориты и вивианиты. Основными видами калийных агроруд являются сильвин, сильвинит, карналлит и каинит.

Все большее значение придается внесению в почвы кремниевых агроруд. В качестве них используются, например, такие горные породы как диатомит и трепел (Лобода, Яковлева, 2003). Как показали многочисленные исследования, наличие доступного для растений кремния не менее важно, чем содержание в них фосфора, азота или калия (Heather, Carole, 2007; Epstein, 2009). Основная часть данного элемента в значительном количестве присутствует в среде в форме химически инертных соединений, которые растениями не усваиваются. Содержание доступного кремния во многих почвах ниже уровня, требуемого для их развития. Внесение кремниевых агроруд принципиально изменяет ситуацию, что проявляется в значительном повышении урожайности сельскохозяйственных культур и их устойчивости к неблагоприятным воздействиям (Куликова и др., 2004; Liang et al., 2007; Уромова, Копосова, 2016).

Агромелиоративные тела формируются на участках земной поверхности, изначально непригодной для возделывания сельскохозяйственных культур. Деятельность по превращению их в земельные участки, на которых становится возможным выращивание культурных растений, называется **агромелиорацией**. Она включает несколько различных направлений, основными из которых являются искусственное орошение (ирригация) земель, осушение заболоченных участков и целенаправленное изменение химизма почвенного покрова (снижение экстремально высокой кислотности и щелочности, вымывание солей и др.) (Зайдельман, 2003; Базавлук, 2014; Желязко, Лукашевич, 2020). В результате этих действий возникает поверхностное техногенное тело, обладающие свойствами, отличающимися от присущих почвам или грунтам, на базе которых оно сформировалось. Такие целенаправленно

трансформированные почвы обозначаются как *мелиогенные* (Кауричев, Гречин, 1969).

При создании агромелиоративных тел широко используются агроруды, получившие название агроруд-мелиорантов (Семендяева и др., 2011). Так, для снижения кислотности почв в них вносятся известняки, известковые туфы, доломиты, мергели. В щелочные и засоленные почвы вносятся природные гипсы. Особый вид агроруд-мелиорантов представляют собой цеолиты – водные алюмосиликаты щелочей (Ca, Na, K, иногда Ba, Sr и др.), которые обладают высокими сорбционными и ионообменными свойствами. Воздействие их на почву носит многоплановый характер. Они способствуют сохранению в ней доступной для растений влаги, снижают кислотность, могут сорбировать (поглощать) азотистые и иные необходимые растениям вещества, а затем постепенно отдавать их в корневую систему. Кроме того, они способны сорбировать тяжелые металлы и радионуклиды, снижая интенсивность их накопления в выращиваемой сельскохозяйственной продукции (Лукманов, Маликов, 2014). Аналогичные эффекты наблюдаются при внесении в почву некоторых других горных пород, например, бентонитовых глин и глауконитовых песков.

В большинстве случаев современные *агроаккумулятивные* образования в земной коре возникают в результате организации скоплений побочных продуктов сельскохозяйственной деятельности. Значительную долю их массы составляют компоненты естественного происхождения (экскременты и трупы животных, остатки растительного происхождения), т.е. по своему генезису они являются природно-техногенными. Как правило по масштабам агроаккумулятивные образования представляют собой не техногенные тела, а техногенные (природно-техногенные) структуры. Но их суммарный объем весьма велик, а широкая распространенность дает основание рассматривать их как одну из

разновидностей техногенеза верхних слоев земной коры. Наиболее распространенными формами агроаккумулятивных структур в настоящее время являются навозохранилища (пометохранилища) и скотомогильники. Даже при относительно малых размерах их существование способно оказывать значимое влияние на экологическую и санитарно-эпидемиологическую ситуацию.

Состав навоза и его свойства в различных хозяйствах может иметь существенные различия, но его основу во всех случаях составляют экскременты животных. В качестве дополнительных компонентов в навозе обычно присутствуют: используемая для смыва экскрементов техническая вода, материалы растительной подстилки, неиспользованный корм, а также песок и глина, захватываемые потоком навозных стоков. В навозе обычно происходят интенсивные микробиологические процессы, сопровождающиеся обильным выделением газов, поэтому, как правило, его внутренняя среда носит полифазный характер.

Общее количество отходов животноводства в современном мире весьма велико. В некоторых странах их объем в 5 раз превышает объем всех бытовых отходов (Шигапов и др., 2016). В начале XXI века только в российских животноводческих и птицеводческих хозяйствах ежегодно образовывалось около 280 млн. тонн экскрементов (Корзникова, Козлов, 2006). С учетом технической воды и подстилочных материалов масса получавшегося из них навоза была 1,5-3,5 раза больше. Его основную часть (80%) давали хозяйства по разведению крупного рогатого скота. В настоящее время объем образующегося в России навоза, вероятно, возрос вследствие интенсивного развития животноводства в условиях политики импортозамещения сельскохозяйственной продукции.

Отходы животноводства и птицеводства широко используются как органическое удобрение. Но внесение свежего навоза в почву может вызвать весьма нежелательные последствия. Во-первых, многие семена различных видов трав, проходя через систему

пищеварения домашних животных, сохраняют свою всхожесть. Поэтому внесение на поля свежего навоза становится причиной резкого увеличения на них численности сорных растений. Во-вторых, интенсивные микробиологические процессы, свойственные первым этапам разложения экскрементов, могут сопровождаться выделением в почву веществ, оказывающих негативное влияние на культурные растения. В-третьих, даже при отсутствии у животных клинических признаков заболеваний, их фекалии могут содержать патогенные микроорганизмы (туберкулезные бактерии, бруцеллы, сальмонеллы, стафилококки и др.) и яйца гельминтов (Галанина, 2004). Во внешней среде некоторые из них сохраняют свою жизнеспособность до года и более. Они могут присутствовать в водах поверхностного смыва с полей и попадать в водные объекты, служащие источниками водоснабжения. При подсыхании свежего навоза споры и яйца болезнетворных организмов в форме аэрозолей попадают в приземный слой воздуха. Согласно материалам Всемирной организации здравоохранения, необработанный навоз и фекальные стоки с сельскохозяйственных объектов могут являться источниками распространения более 100 видов возбудителей особо опасных болезней животных и человека (Лопата, 2008).

По этим причинам отходы животноводства и птицеводства для использования в качестве удобрений должны подвергнуться предварительной обработке и обеззараживанию. Существуют два основных способа выполнения данной задачи. Первый из них заключается в сбраживании отходов в специальных установках – метантенках. В ходе этого процесса выделяется горючий газ (метан), который может быть использован как топливо. Но приобретение такого оборудования и его обслуживание требуют значительных затрат. Кроме того, в России метантенки могут функционировать только в отапливаемых помещениях, причем получаемого в них горючего газа для этой цели, как правило, недостаточно. Поэтому большее распространение получил второй способ – строительство

специальных сооружений навозохранилищ и помехохранилищ. Они создаются в форме бассейнов-отстойников, траншей или карт-лагунов (Теучеж, 2019). Если накапливаемые в них сельскохозяйственные отходы благодаря наличию специальных покрытий разлагаются без контакта с атмосферным воздухом, то данный процесс обозначается как компостирование. В этом случае наступление времени их использования в качестве удобрения сокращается. Однако полностью реализовать переработанные и обеззараженные отходы удается далеко не всегда. Так, по данным Минсельхоза России, ежегодно используется не более 25% образующегося навоза и помета (Миронов, 2016). Масса навоза в хозяйствах по разведению крупного рогатого скота в 1,5-2 раза больше, чем ее количество, которое на практике утилизируется при выращивании сельскохозяйственных культур (Уланов, 2014). Значительная часть неиспользованных в качестве удобрений отходов данного вида захоранивается, образуя подповерхностные природно-техногенные геологические структуры. Со временем их масса может существенно уменьшиться вследствие биологической трансформации (разложения). По этой причине подобные структуры можно отнести к категории деградирующих. Вместе с тем, напластования навоза при определенных условиях способны сохраняться в геологической среде в течение весьма длительного периода. Так, например, они обнаружены при проведении археологических исследований средневековой Москвы (Лебедева, Сергеев, 2019).

Следует отметить, что дно большинства навозохранилищ не покрывается гидроизоляционными материалами. Поэтому даже при условии их периодической очистки и полного вывоза выдерживаемого в них материала, под ними формируется сопряженная техногенная структура, состоящая из грунта, пропитанного жидкой фракцией сельскохозяйственных отходов и продуктами их разложения (нитратами, аммиаком, мочевиной и др.) (Миронов, 2016). При попадании этих загрязнителей в подземные

воды и распространении их в подстилающем массиве горных пород может возникнуть зона техногенного влияния.

Скотомогильник – это участок массового захоронения в земной коре трупов животных. Обычно необходимость организации подобных объектов возникала в периоды падежа сельскохозяйственных животных от инфекционных заболеваний (эпизоотий). В настоящее время в Российской Федерации трупы животных, которые рассматриваются как разновидность биологических отходов, согласно официально утвержденным правилам полагается либо сжигать, соблюдая особые меры, либо контролировать процесс разложения, создавая для этого специальные бетонированные колодцы, так называемые биотермические ямы⁸⁷. Устройство скотомогильников допускается только в исключительных случаях. Аналогичные правила действуют и в большинстве развитых стран. Однако в предшествующие времена создание скотомогильников широко практиковалось, и образовавшиеся из них подповерхностные природно-техногенные геологические структуры встречаются достаточно часто (Бадмаев, 2017; Зайцев, Кичева, 2018; Ковальчук, 2019).

Материал, из которого формируются скотомогильники, состоит из костей, шерсти и иных слабо подверженных разложению остатков животных, перемешанных с грунтом. Таким образом, их можно отнести гетерогенным агрегированным структурам. Грунт скотомогильников, как правило, обогащен органическими веществами и минеральными продуктами разложения захороненных трупов животных. Длительное время в нем могут присутствовать микроорганизмы-возбудители опасных болезней не

⁸⁷ Ветеринарные правила перемещения, хранения, переработки и утилизации биологических отходов. Утверждены Приказом Минсельхоза России №626 от 26.10.2020 г.

только животных, но человека. Прежде всего, это бациллы сибирской язвы, способные сохраняться в почве десятилетиями.

6.10. ДЕФРОСТАЦИОННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА И ТЕХНОГЕННЫЕ КРИОПЭГИ

Осуществление различных видов деятельности в зоне многолетней мерзлоты (криолитозоне) может вызвать существенное изменение состояния земной коры, в результате оттаивания горных пород и грунтов. Данный процесс можно называть *техногенной деградацией многолетней мерзлоты*, а возникающие в его результате можно рассматривать как особую категорию техногенных геологических тел – *дефростационных*. По своему значению данный термин близок понятию *техногенные талики* (Романовский, 1983), т.е. участки талых и немерзлых пород в области развития многолетней мерзлоты, возникшие в результате человеческой деятельности. Вместе с тем, между ними существуют некоторые различия. Талики включают существенно больший спектр образований. В частности, к ним относят горные породы и грунты, имеющие отрицательную температуру, но пропитанные высокоминерализованными (криогалинными) водами. В монографии подобные участки земной коры рассматривается как отдельный вид геологических тел – *криопэги*. Следует также отметить, что, согласно общепринятому определению, таликом может считаться любой оттаявший участок многолетней мерзлоты, просуществовавший более 1 года. В более холодные годы талики могут исчезать. Техногенные геологические тела – это элементы, формирующие структуру геологической среды и постоянно существующие в течение достаточно длительного

периода⁸⁸. Помимо прочего, введение понятия дефростационные тела целесообразно для обеспечения логической целостности общей классификации техногенных геологических тел (см. разд. 1.4).

Оценивая значимость дефростационных геологических тел следует вспомнить, что многолетнемерзлые породы в настоящее время в Северном полушарии распространены приблизительно на 24% площади суши, т.е. на площади около $22,8 \cdot 10^6$ км². В современной России они покрывают более половины (67%) территории (Анисимов, Белоуцкая, 2002).

Оттаивание многолетнемерзлых горных пород и грунтов часто сопровождается их разжижением и возникновением различных экзодинамических процессов (термокарстов, термопросадок, оползней и др.). Весьма интенсивно протекает водная эрозия оттаивающей мерзлоты, которая в силу своей специфики, в т.ч. высокой разрушительной способности, рассматривается как отдельная форма экзогенных процессов – *термоэрозия*. Особую опасность эти явления представляют на территориях крупных населенных пунктов, где техногенная деградация мерзлоты происходит особенно интенсивно. В первую очередь это связано с тем, что дефростация многолетнемерзлых массивов приводит к уменьшению их несущей способности, деформации и разрушению возведенных на них зданий, сооружений и иных объектов.

Вместе с тем, строительство зданий и сооружений может способствовать не только повышению температуры верхних слоев

⁸⁸ В разделе 1.1. предложено определить в качестве минимального срока их существования – 10 лет. Подавляющее большинство рассмотренных в монографии видов техногенных тел присутствует в геологической среде значительно дольше. Хотя их состав и внутренняя структура подвержены различным видам трансформации (и нередко эти процессы идут с высокой скоростью), техногенные геологические тела сохраняются как отдельные элементы геологической среды, отграниченные от других. В отличие от этого замерзший талик может быть включен в состав многолетнемерзлого массива, из которого он ранее образовался.

литосферы, но и вызвать ее снижение. Первый из этих процессов обусловлен как прямой передачей тепла от антропогенных объектов, так и косвенными факторами, заключающимися в создании человеком условий для повышения температуры мерзлой земной поверхности. Например, глубина протаивания мерзлых грунтов может возрасти в 1,5-2 раза в результате загрязнения снежного покрова угольной пылью и его более быстрым исчезновением в весенний период (Горшков, 1982). Деградация многолетней мерзлоты также усиливается при уничтожении растительного покрова.

Но в других случаях сооружения и искусственные покрытия способствуют термоизоляции многолетнемерзлых грунтов. Так, по данным Ф.В. Котлова (1977) в г Воркута, на 70-85% территории отмечалось повышение температуры верхних слоев земной коры, а на 15%, напротив, наблюдалось ее понижение. Аналогичные явления были зафиксированы и в других крупных населенных пунктах, расположенных в пределах криолитозоны. Но практически всегда преобладает процесс оттаивания многолетнемерзлых слоев, сопровождающийся образованием дефростационных техногенных геологических тел.

Вокруг каждого здания и сооружения формируется свое локальное термическое поле. Его масштабы зависят от размеров постройки и температуры внутри его помещений и колеблются в широких пределах. Например, глубина оттаивания под зданием составляет от 14 до 50 м (Горшков, 1982). В городах локальные термические поля могут постепенно сливаться, образуя групповые, а затем и общегородские техногенные геотермические поля. В этой ситуации термическое техногенное воздействие на литосферу отдельных объектов взаимно усиливается (Хрусталеv, 1971). Объем групповых и общегородских дефростационных тел существенно превышает сумму объемов участков термически трансформированной земной коры, входящих в них отдельных

объектов. Так, единая зона протаивания, сопровождающаяся опусканием земной поверхности на 5-10 и более метров, в настоящее время сформировалась на территории г. Воркута (Гумель, Зотова, 2014).

Крупномасштабные дефростационные тела также образуются вдоль различных линейных объектов: транспортных магистралей и инженерных сетей. На рис. 6.22 представлен разрез подобного техногенного тела, сформировавшегося при прокладке газопровода.

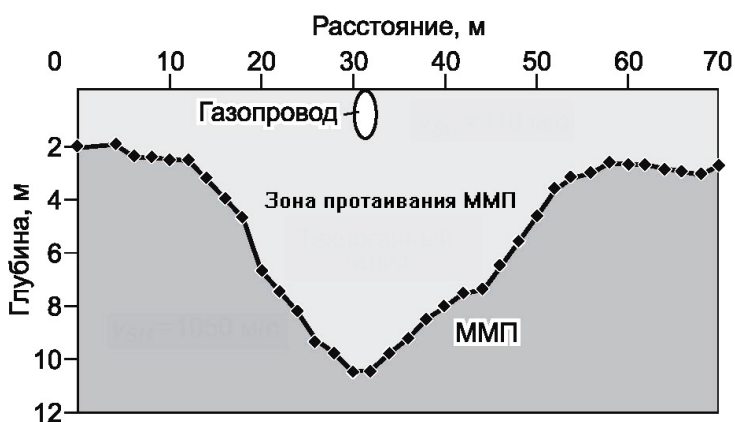


Рисунок 6.22. Зона протаивания многолетнемерзлых пород (ММП) под действующим газопроводом Надым-Пунга (по Мельников и др., 2010)

Криопэги (также называвшиеся жидкой мерзлотой и криогалинными водами) – это высокоминерализованные скопления подземные вод (рассолы), постоянно имеющие отрицательную температуру (Кононова и др., 1971; Ланге, Толстихин, 1973; Толстихин, 1982). Существуют как природные, так и техногенные криопэги (Алексеев, 2014). В ряде случаев подобные образования естественным образом возникают в углублениях поверхности многолетнемерзлых грунтов и горных пород. Техногенные криопэги

в большинстве случаев образуются в результате неконтролируемого просачивания бытовых и промышленных стоков, содержащих большое количество растворенных солей, в толщу многолетнемерзлых массивов горных пород. Температура замерзания подобных флюидов существенно ниже 0°C. Результатом становится образование линз жидкой мерзлоты на глубине нескольких метров (Данзанова, Павлова, 2016). Большие скопления криопэгов также образуются в результате принудительной закачки промышленных стоков в более глубокие горизонты криолитозоны. Например, подобный способ захоронения жидких отходов и минерализованных дренажных вод практикуется на якутских предприятиях, осуществляющих разработку алмазных месторождений (Дроздов, Попов, 2013).

Возникновение техногенных криопэгов следует рассматривать как опасное явление. При их пополнении минерализованными стоками происходит переход многолетней мерзлоты в жидкую фазу окружающего пространства. Подобные явления могут охватывать весьма значительные участки недр, формируя масштабные жидкие техногенные тела. Так, при разработке одного из якутских алмазных месторождений в массив многолетнемерзлых пород за несколько лет было закачено 5,4 млн м³ рассолов, образовавшихся из дренажных вод. В результате произошло образование техногенного водоносного горизонта, мощность которого в центральной части составляла 160 м, а распространение содержащихся в нем рассолов в горизонтальном направлении достигало 6-8 км (Сердюков и др., 1996). Разгрузка техногенных водоносных горизонтов, состоящих из криопэгов, способна резко ухудшить экологическую ситуацию. Описаны случаи, когда выход таких техногенных рассолов на поверхность приводил к полному уничтожению растительности на значительных площадях (Алексеев, 2000).

В результате формирования техногенных криопэгов на земной поверхности могут возникать провалы, приводящие к разрушению

построек, транспортных магистралей и иных объектов. В отличие от процесса образования термокарстов (термопросадок), эти явления могут происходить без повышения температуры многолетнемерзлых массивов. К настоящему времени процессы образования и развития криопэгов мало изучены, что затрудняет прогнозирование подобных явлений и увеличивает их опасность. Вместе с тем, хозяйственное освоение территорий криолитозоны закономерно повышает вероятность образования новых техногенных криопэгов.

Образование техногенных тел возможно и при использовании природных криопэгов. Например, предлагается использовать их путем замораживания в качестве охлаждающих агентов для стабилизации грунтов (Чжан, 2017). В этом случае возникает криотехногенное тело или структура. Кроме того, некоторые природные криопэги содержат ценные элементы, которые могут быть извлечены путем их откачки. Подобная деятельность также способна вызвать изменение структуры многолетнемерзлых массивов горных пород и развитие экзогенных процессов (например, проседаний). Нельзя исключать, что в будущем может стать целесообразной и добыча ценных элементов из некоторых техногенных криопэгов, которые таким образом превратятся в разновидность техногенных месторождений.

ГЛАВА VII. ПРИБРЕЖНЫЕ, ОСТРОВНЫЕ И ПОДВОДНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА

7.1. ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ И ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ

Рассматриваемым в данной главе техногенным телам свойственна одна общая особенность. Несмотря на различия в генезисе, предназначении и составе, все они формируются на участках гидросферы. Образование этих тел в одних случаях

приводит к превращению акватории в участки суши, а в других случаях вызывает техногенную трансформацию земной коры, покрытой водной толщей. При целенаправленном характере этой деятельности оба вида этих явлений могут происходить в рамках реализации одного и того же проекта. Например, высказывается идея о создании в прибрежных зонах Мирового океана так называемых многоуровневых общественных пространств, которые включают возведение искусственных земельных участков (островов) и окружающих их подводных объектов рекреационного и экологически мелиоративного предназначения (Имбринцев и др. 2015). Архитектурный дизайн искусственного надводного и подводного ландшафтов по замыслу авторов проекта должен плавно перетекать из одного в другой. Отдельное внимание уделяется зоне переменного уровня вод – прибрежному мелководью между минимальным и максимальным уровнем воды в акватории⁸⁹. В ней организуются заливаемые водой детские площадки (так называемые «лягушатники»), могут создаваться безопасные мелководные парки для семейного отдыха, во время семейных прогулок по которым, благодаря созданию специальных убежищ для животных и посадкам водной растительности, можно увидеть представителей морской флоры и фауны.

Очевидно, что создание подобных многоуровневых общественных пространств неизбежно сопровождается образованием комплекса различных техногенных геологических тел (рис. 7.1), служащих основаниями для различных сооружений или являющихся результатом вертикальной планировки. Техногенными геологическими телами можно считать и железобетонные массивы капитальных подводных сооружений в подводных парках.

⁸⁹ В морях с невыраженными приливно-отливными явления (например, на Черном море) в качестве нее можно рассматривать прибойную зону.

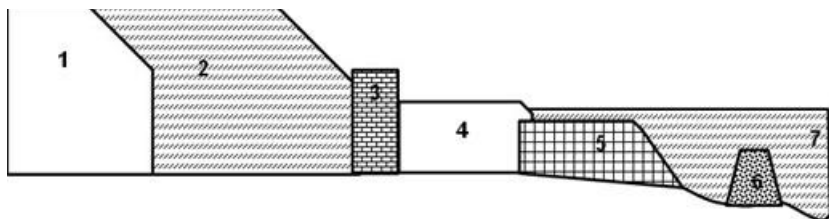


Рисунок 7.1. Схема комплекса техногенных тел, образующихся при реализации проекта прибрежного многоуровневого общественного пространства: 1 – берег, существовавший до начала реализации проекта (при наличии городской застройки его верхние слои представлены урбаноземами различного типа); 2 – прибрежное техногенное тело (намывные и насыпные техноземы); 3 – техногенные структуры берегоукрепительного барьера; 4 – искусственный пляж (намывные и насыпные техноземы); 5 – техногенные тела, формирующие рекреационные объекты в зоне переменного уровня вод; 6 – донные искусственные рифы и сооружения подводных парков; 7 – водная толща.

Такое возведение прибрежных многоуровневых общественных пространств неизбежно сопровождается образованием техногенной геологической формации, состоящей из техногенных тел нескольких различных видов.

Прибрежные и островные техногенные геологические тела возникают в результате целенаправленной деятельности. Свидетельством их высокой практической значимости является наличие официально утвержденной терминологии, используемой для описания этих образований в действующих законах Российской Федерации. В них же утвержден и их правовой статус. Аналогичные положения содержат и законодательные акты других государств, а также ряда международных соглашений. Так, согласно статье 3 Федерального закона «Об искусственных земельных участках, созданных на водных объектах, находящихся в федеральной собственности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 19.07.2011 г.

№246-ФЗ, *искусственный земельный участок или искусственно созданный земельный участок* – это сооружение, создаваемое на водном объекте, находящемся в федеральной собственности, или его части путем намыва или отсыпки грунта либо использования иных технологий и признаваемое после ввода его в эксплуатацию также земельным участком. Искусственно созданный земельный участок может прилегать к существующим земельным участкам или быть изолированным от них. Определение понятия искусственный остров приводится в Федеральном законе «О континентальном шельфе Российской Федерации» от 30.11.1995 г. №187-ФЗ. Как указывается в статье 4, *искусственные острова* – это стационарно закрепленные в соответствии с проектной документацией на их создание по месту расположения на континентальном шельфе Российской Федерации объекты (искусственно сооруженные конструкции), имеющие намывное, насыпное, свайное и (или) иные неплавучие опорные основания, выступающие над поверхностью воды при максимальном приливе.

В большинстве случаев искусственные земельные участки (ИЗУ) и искусственные острова (ИО) сооружаются с целью создания новых площадей земной поверхности, которые можно использовать в тех или иных целях. Таким образом, конечный результат этой деятельности можно рассматривать как усиление топоческого аспекта георесурсной функции литосферы (см. разд. 2.2.3). При подобном утилитарном подходе основное внимание сосредотачивается на получении экономических выгод, а иногда и в достижении геополитических целей. Так, начиная с 2014 г. Китай создает крупные искусственные острова на основе нескольких рифов архипелага Спратли (Кизилова, 2018; Нгуен Куок Хунг, Тригубенко, 2018). На них строятся военные аэродромы, устанавливаются средства противовоздушной обороны и радарные комплексы. Следует отметить, что принадлежность архипелага

Спратли к Китаю представляет спорный вопрос. На него одновременно заявляют свои права Филиппины, Вьетнам, Малайзия, Тайвань и Бруней. Эти претензии обострились как в связи с милитаризацией данного района Южно-Китайского моря, так по причине того, что на шельфе этого района были обнаружены нефтегазовые месторождения. До этого к архипелагу Спратли, состоящего из нескольких маленьких необитаемых островков, окруженных коралловыми рифами, ни одно из государств серьезного интереса не проявляло. Помимо прочего, строительство искусственных островов в Южно-китайском море специалисты связывают с развитием логистической цепи морского «Шелкового пути» для поставок товаров из Азии в Европу, что входит в число геополитических целей Китая.

Происходящим при возведении ИЗУ и ИО изменениям структуры литосферы и гидросферы придается значительно меньшее значение, чем экономическим и политическим проблемам. Вместе с тем, эти аспекты техногенеза земной коры уже в ближайшем будущем могут вызвать крупномасштабные негативные последствия или даже могут стать причиной катастрофических явлений. Уже сейчас на многих участках прибрежной зоны Мирового океана возведены искусственные земельные участки и острова, суммарная площадь которых составляет сотни км² (Мельников, 2011; Hayward, Fleury, 2016), а учитывая планы расширения этой деятельности, можно прогнозировать, что вскоре она возрастет на несколько порядков. Так, согласно некоторым прогнозам к 2030 г. до 12,5 млн. км² морских акваторий будут заменены искусственно созданными участками суши (Chee et al., 2017). Создание ИЗУ и ИО всегда влечет крупномасштабное и в большинстве случаев практически необратимое изменение окружающей среды (Larson, 2015; Givi et al., 2015; Chee et al., 2017), включающее трансформацию геологических, геоморфологических, гидролого-гидрохимических и гидробиологических условий,

которые можно рассматривать как отдельные виды техногенеза (Суздалева, Горюнова, 2014).

На определенном этапе количественный рост площади искусственно создаваемой суши и изменения конфигурации береговой линии могут достигнуть некоей критической точки, после которой последует изменение направлений и интенсивности морских течений, а также тесно связанной с ними атмосферной циркуляции (Суздалева, Безносков, 2020). Этому будет способствовать нарушение баланса процессов обмена веществом и энергией между атмосферой и гидросферой. Подобные явления не могут не вызвать климатических изменений и экстремальных флуктуаций гидрометеорологических условий во многих регионах планеты. Вместе с тем, рассматривать возведение ИЗУ и ИО как деятельность, вызывающую исключительно негативные явления – недальновидно и неконструктивно. Превращение участков водных (главным образом, морских) объектов в участки суши представляет собой закономерный и практически неизбежный аспект развития нашей цивилизации. Запрет этой деятельности нереален. Выходом из ситуации является разработка методов управления процессами техногенеза Мирового океана. При создании ИЗУ и ИО такая возможность частично уже реализуется на практике. Многие искусственно создаваемые участки суши характеризуются лучшими экологическими условиями по сравнению с естественными участками, расположенным в том же регионе (Криворотько, Подгорная, 2015). Более того, целью создания некоторых ИЗУ и ИО является формирование зон с благоприятными условиями среды (Суздалева, 2020а). Некоторые из них проектируются как озелененные территории для размещения туристических объектов, окруженных специально оборудованными местами массового отдыха – резортами (Суздалева и др., 2012). Задачей является придать этим позитивным явлениям системный характер и

скоординировать управление ими на глобальном уровне (Суздалева, Горюнова, 2017).

Формирование *подводных техногенных геологических тел* в настоящее время характеризуется не меньшей масштабностью и экологической значимостью. Они представляют собой весьма обширный спектр различных образований, принципиально различающихся по своему характеру и происхождению. Некоторые из них создаются целенаправленно, а другие возникают как побочный продукт развития человеческой цивилизации. Так, *причинами возникновения подводных техногенных тел и структур являются:*

- возведение донных искусственных рифов и функционирование хозяйств аквакультуры;

- создание не извлекаемых из геологической среды массивов технического предназначения (оснований гидротехнических сооружений, «мертвых» бетонных якорей и др.);

- отсыпка грунтов на подводных полигонах при проведении дноуглубительных работ и захоронение в морях отходов;

- стихийное засорение и загрязнение подводных грунтов, внедрение в них техногенных структурных элементов, включений и блоков;

- формирование седиментационных техногенных тел в результате трансформации человеком интенсивности потоков поступающей в водные объекты взвеси и ее состава, а также нарушения процессов естественного седиментогенеза и переотложения донных осадков, спровоцированных различными видами деятельности.

Отдельную группу техногенных тел представляют портовые и берегозащитные сооружения, а также искусственные пляжи. Они занимают пространство на урезе воды и по этой причине не могут

быть отнесены ни к прибрежным (островным), ни к подводным телам.

7.2. ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА ИСКУССТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ И ИСКУССТВЕННЫХ ОСТРОВОВ

Структура искусственных земельных участков (ИЗУ) и искусственных островов (ИО), как правило, включает следующие основные элементы (рис. 7.2):

1. **Основание**, т.е. площадку на дне водного объекта, где размещается материал, из которого создается сооружение. В ряде случаев проводятся специальные работы по подготовке дна: изменение подводного рельефа, очистка от наносов и др.

2. **Тело** – основная масса сооружения, состоящая из материалов, перемещенных на этот участок путем отсыпки с берега или намыва подводных грунтов с других участков дна. Отдельную категорию представляют тела ИЗУ и ИО, которые можно обозначить как «структурированные». Например, это массивы, образованные из нескольких слоев, отличных по своим свойствам (стратифицированные тела), а также тела, формируемые из специально изготовленных модулей или блоков. Надводная часть тела используется для строительства жилых зданий, дорог, рекреационных, производственных и военных объектов.

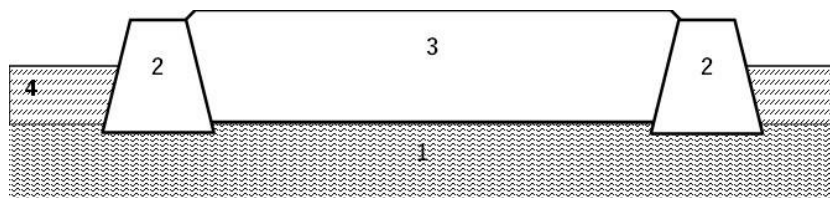


Рисунок 7.2. Основные элементы структуры искусственного острова: 1 – основание; 2 – ограждение; 3 – тело; 4 – вода

3. **Ограждение** – барьер из конструкций, препятствующий абразионному разрушению тела. Для его сооружения используются железобетонные конструкции, сваи, габионы. В последнее время все большее применение находят так называемые геотубы (рис. 7.3), которые представляют собой рукава из полипропилена, заполняемые пульпой из грунта или иным пластичным материалом. Служиваясь, они образуют устойчивую техногенную структуру, располагающуюся по контуру ИЗУ или ИО.

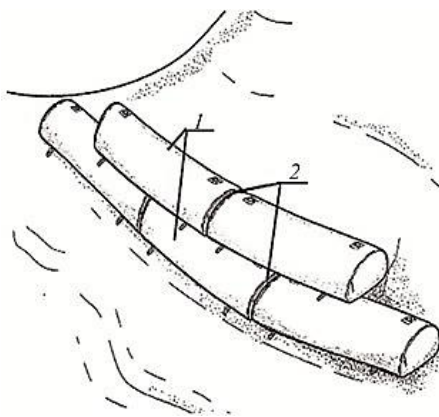


Рисунок 7.3. Ограждение из геотубов: 1 – заполненные геотубы; 2 – стыки оболочек (по Семенов, Калошина, 2016)

По своей форме ограждение представляет намытый пляж, укрепленный откос или стену. В соответствии с этим различают:

- острова с откосами распластанного (пляжного) профиля;
- острова нормального (обжатого) профиля (уклон 1:3 – 1:6);
- острова с вертикальными откосами (уклон более 1:3) (Корытова и др., 2015).

Ограждение ИЗУ и ИО также может создаваться в виде подводных террас, а также иметь более сложную многофункциональную конструкцию (Суздаева, 2020а). Например, на основе конструкций ограждения или в едином конструктивно-

компоновочном комплексе с ними могут возводиться портовые сооружения, хозяйства аквакультуры и искусственные рифы различного назначения.

В настоящее время существует много различных технологий возведения ИЗУ и ИО (Воскоњян, 2006; Семенов, Калошина, 2016), в том числе и такие экзотические как искусственная стимуляция роста коралловых рифов (Мельников, 2011). Но наиболее распространенными являются отсыпка и намыв их тел. Формирующие их материалы можно рассматривать как насыпные и намывные техноземы. Отсыпка ИЗУ обычно осуществляется с автотранспортных средств, для которых к их основанию (мелководью) прокладываются подъездные пути (насыпи). В качестве материала используется рыхлые и измельченные скальные горные породы, добываемые из карьеров, а также полученные при вертикальной планировке (выполаживании рельефа). Нередко для этой цели используются отходы строительства и сноса зданий и сооружений. В этом случае данный метод можно обозначить как *дампинговый*⁹⁰ (Суздалева 2020а).

В некоторых случаях материал для отсыпки ИО доставляется на баржах, которые загружаются с берега, или грунт на которые поднимается со дна водного объекта землечерпательными снарядами. Поскольку значительная выемка подводных отложений в непосредственной близости от участка отсыпки ИО нежелательна, для этой цели организуются специальные подводные карьеры, удаленные на от него на значительное расстояние.

Гидронамыв ИЗУ и ИО заключается в подаче на участки их оснований пульпы, твердые частицы которой оседают, а вода с мелкой взвесью распространяется по окружающей акватории.

⁹⁰ От англ. *damping* – захоронение в море отходов.

Материалом для намыва в большинстве случаев служат подводные грунты, в т.ч. отбираемые из подводных карьеров.

Тела ИЗУ и ИО могут иметь различную структуру. Если отсыпка материала происходит непрерывно, а состав его однороден, то их тела формируются как гомогенные. Но более часто они в той или иной степени стратифицированы. В ряде случаев стратификация создается целенаправленно, например, для подготовки условий озеленения новых территорий. Гидронамыву неизбежно сопутствует образование фациального ряда образований с различающимся гранулометрическим составом. Намывные тела, как правило, отличаются большой плотностью и отсутствием крупноразмерных структурных элементов.

Как отсыпка, так и намыв любых новых участков суши неизбежно сопровождается ухудшением экологических условий в окружающей акватории. Прежде всего, это осаждение мелких частиц взвеси при распространении взмученных вод. Кроме того, возведение ИЗУ и ИО может привести к нарушению естественного гидродинамического режима (течений воды, их направления и интенсивности). Во многих случаях это также оказывает воздействие на характер седиментогенеза и осадкообразования. Так, в застойных зонах, образующихся у берегов ИЗУ и ИО, происходит осаждение взвесей, принесенных из других частей акватории. Последствием изменения гидродинамики может также стать размыв и переотложение донных наносов. В совокупности эти процессы способны вызвать изменение гранулометрического и химического состава формирующихся подводных грунтов, которые можно рассматривать как верхний слой геологической среды. Участки дна, на которых происходят подобные явления, представляют собой разновидность зон техногенного влияния.

Анализируя последствия формирования ИЗУ и ИО из подводных грунтов, нельзя не обратить внимание на сопутствующие данной деятельности изменения наземного и подводного рельефа.

Например, при создании ИЗУ «Морской фасад», который является расширением Васильевского острова (г. Санкт-Петербург), объем изъятых подводных грунтов в 2005-2006 гг. составил 13,4 млн. м³, а на окончательном этапе реализации данного проекта этот показатель достигнет 64,3 млн. м³ грунта (Усанов и др., 2008)⁹¹.

Образовавшиеся карьеры, из которых изымается материал для создания тел ИЗУ и ИО, представляют собой участки разрушения земной коры. Их последующая целенаправленная или спонтанная трансформация приводит к образованию техногенных тел. При этом, если проблемам засыпки и обустройства наземных карьеров уделяется должное внимание, то процесс трансформации подземных выемок грунта почти не исследовался. Иногда эта деятельность имеет и другую цель, заключающуюся в улучшении условий судоходства и искусственного создания подводного рельефа, который поддерживается периодическим проведением дноуглубительных работ. В остальных случаях подводные карьеры постепенно изменяют свою конфигурацию вследствие сползания и обрушения их склонов, а также заполняются осадками. Подобные явления спонтанного формирования подводных природно-техногенных геологических тел можно рассматривать как процессы вторичного техногенеза (Суздалева, Горюнова, 2014), которые могут иметь серьезные как экологические, так геологические последствия. Так, в 60-е годы XX века при намыве ИЗУ в черте Ленинграда со дна Невской губы было изъято значительное количество подводных грунтов. В результате возникло два подводных карьера, на дне которых сформировались илистые отложения с высоким уровнем токсичных загрязнителей (Рыбалко, Федорова, 1996).

Значительно меньшим воздействием на окружающую среду сопровождается сооружение тел ИЗУ и ИО из модулей и массивов-

⁹¹ Более подробно эта деятельность, обозначаемая как дреджинг, рассматривается в разделе 7.5.

гигантов. Использование данных технологий требует больших первоначальных затрат, которые могут окупиться в последующий период. Под модулями в данном случае понимаются специально изготовленные типовые строительные блоки различной формы. Например, ими могут служить железобетонные конструкции в форме параллелепипеда со сквозными отверстиями (рис. 7.4).

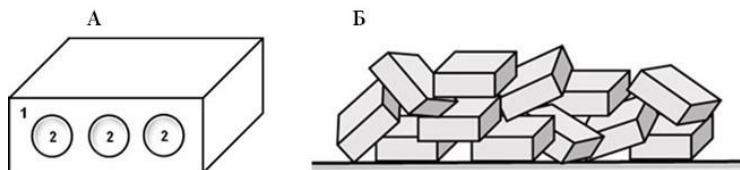


Рисунок 7.4. Примеры использования железобетонных модулей для создания тел ИЗУ и ИО: А – отдельный модуль (1 – железобетонная конструкция; 2 – сквозные отверстия). Б – наброска из модулей на основании возводимого тела

Разработаны и иные формы модулей, например, шестириды (Воскоњьян, 2006), представляющие собой комбинацию их шести усеченных конусов (рис. 7.5). В качестве них также могут быть использованы стандартные фасонные бетонные блоки (см. разд. 7.4). Основными требованиями к возведению тел ИЗУ и ИО из модулей является прочность, не допускающая оседаний в последующий период, и наличие пустот, обеспечивающих дренаж отсыпаемого поверх них грунта.

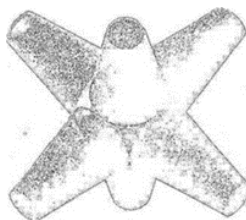


Рисунок 7.5. Шестирид (по Воскоњьян, 2005)

Массивы-гиганты первоначально, как правило, создаются в виде пустотелых бетонных коробов (Тарасенко, Гогин, 2016). Они разделены на секции и обладают положительной плавучестью. Это дает возможность изготавливать их на предприятиях, удаленных от района возведения ИЗУ и ИО, и доставлять на место на путем буксировки⁹². После установки над участком подготовленного основания они заполняются различными наполнителями (например бетоном, сыпучими материалами) и опускаются на грунт. При цементации наполнителей тело ИЗУ или ИО, составленное из массивов-гигантов, приобретает свойства аналогичные естественным скальным массивам горных пород.

В ходе реализации одного и того же проекта ИЗУ и ИО может применяться несколько методов. Так массивы-гиганты могут служить как основой для сооружения их тел, так и использоваться только при создании ограждений.

Следует подчеркнуть, что все материалы и конструкции, слагающие тело и ограждение ИЗУ и ИО, вне зависимости от их происхождения и формы (техноземы, строительные отходы, массивы-гиганты, специально созданные для этой модули) с позиций второй геологии рассматриваются как материалы, формирующие техногенные тела, являющиеся частью литосферы.

7.3. ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА ИСКУССТВЕННЫХ РИФОВ

Согласно определению, данному в действующей нормативно-правовой базе РФ, **искусственный риф** – это гидротехническое сооружение, предназначенное для экологически ориентированной коррекции подводного ландшафта и создания благоприятных условий для развития различных видов водных организмов (Свод правил, 2012). В научно-технической литературе понятие

⁹² Подобной метод обозначается как наплавной способ строительства гидротехнических сооружений.

искусственный риф трактуется значительно более широко (Пупышев, 1988; Жуйков, 1990; Изергин, Яновский, 1998; Vaine, 2001). Например, многие из сооружений, включаемых в данную категорию, создаются в рекреационно-развлекательных целях и используются для демонстрации туристам богатства морской фауны. К категории искусственных рифов также причисляют различные объекты, предназначенные для очищения водной среды от загрязнителей и выращивания различных видов водных биологических ресурсов (ВБР). К искусственным рифам относят и некоторые виды берегозащитных сооружений и сооружений, корректирующих гидродинамику прибрежных акваторий.

Возведение искусственных рифов может не только улучшать экологическое состояние прибрежных акваторий, но приносить значительную экономическую выгоду. Она может быть как прямой (получение средств от продажи ВБР), так и косвенной (увеличение доходов туристического бизнеса) (Bohnsack, Sutherland, 1985; Mohd Salleh et al., 2018). Затраты на строительство искусственных рифов в большинстве случаев относительно невелики и достаточно быстро окупаются⁹³. Эта деятельность, сопровождающаяся соответствующей пиар-компанией, как правило, дает возможность приобрести ее субъектам (курортным учреждениям и др.) позитивный экологический имидж, что также часто приносит ощутимые финансовые дивиденды (Суздалева, 2016а). По этой причине все чаще владельцы гидротехнических сооружений, имеющих иное предназначение, пытаются представить их как искусственные рифы (Dafforn et al., 2016; Mayer-Pinto et al., 2017). С этой целью в их конструкции включаются дополнительные элементы. Например, в качестве искусственных рифов иногда рассматривают модифицированные с этой целью ограждения ИЗУ.

⁹³ В зависимости от конструкции и предназначения срок окупаемости этих сооружений составляет 7-30 лет (Амаева и др., 2016).

По этим причинам возведение искусственных рифов приобретает все большие масштабы, а само это понятие трактуется все более широко. Связано это с тем, что практически все искусственные поверхности, размещенные в водной среде, если они не имеют специальных противобрастающих покрытий, быстро заселяются организмами, которые если и не относятся к категории ВБР, то могут рассматриваться как их кормовая база. На основании этого уже давно некоторые специалисты предлагают рассматривать опоры нефтяных платформ как отдельную категорию искусственных рифов, поверхность которых покрыта биообрастаниями (Bohnsack, Sutherland, 1985).

Широкая трактовка термина искусственный риф привела к тому, что к ним стали причислять сооружения, предназначенные для аквакультуры и рекреационных целей, размещаемые не только на дне, но и на поверхности моря или в толще воды. Подобные объекты обозначаются как пелагические рифы (Свод правил, 2012). Они не могут рассматриваться как техногенная геологическая структура⁹⁴, так как связаны с дном водного объекта лишь якорным креплением. Техногенными геологическими структурами являются только так называемые донные искусственные рифы, которым и посвящен данный раздел монографии.

Состав материалов, из которых на дне водных объектов создавались искусственные рифы, весьма разнороден. Первоначально многие из этих сооружений представляли собой связки вышедших из употребления автомобильных покрышек. В США и странах Западной Европы искусственные рифы создавались из старых судов, автомобилей и даже самолетов (Имбринцев и др.,

⁹⁴Это не относится к формирующимся под их влиянием донным отложениям, которые представляют собой биотехнологические тела (структуры), включающиеся по мере накопления массы в состав геологической среды.

2015; Метечко и др., 2017). Ими объявлялись вышедшие из эксплуатации портовые и иные гидротехнические сооружения. Подобный подход был весьма выгоден. Он, например, позволял относительно просто избавляться от некоторых видов отходов и изношенного оборудования, не затрачивая большие средства на разделку судов и демонтаж гидротехнических сооружений. Вместе с тем, в долгосрочной перспективе (10 лет и более) он приводил к негативным последствиям. Материалы и конструкции, изначально непредназначенные для столь длительного пребывания под водой, постепенно разрушались загрязняя и засоряя своими остатками прибрежную зону. Так, описан случай, когда один из пляжей в США после шторма был загроможден старыми автомобильными крышками, оторвавшиеся от искусственного рифа (Имбринцев и др., 2015). Можно предположить, что подобные события будут происходить еще неоднократно.

Затопленные суда по мере разрушения становятся опасными для туристов, посещающих их на легких плавсредствах и особенно для дайверов. Их существование нередко ухудшает экологические условия. Например, они могут спровоцировать заиление подводных грунтов и образование застойных зон. Известны случаи, когда неконтролируемое существование искусственных рифов превращало их в источник распространения паразитов рыб (Мачкевский, Гаевская, 2000). Для обозначения подобных объектов нами ранее был предложен термин *«засоряющие сооружения»* (Безносков, Суздалева, 2005). К ним относятся все находящиеся в водной среде бесхозные или безнадзорные конструкции, ухудшающие экологическое состояние и условия эксплуатации акватории. В тех случаях, когда их демонтаж и извлечение не осуществляется, они, скорее всего, будут распадаться на части и постепенно захораниваться наносами в форме скоплений аллохтонных материалов или отдельных фрагментов. В соответствии с этим из них могут возникнуть техногенные

геологические структуры, а также техногенные геологические блоки, включения или техногенные структурные элементы в составе подводных отложений (табл. 7.1).

Таблица 7.1. Основные виды подводных техногенных геологических структур (тел), образующихся из донных искусственных рифов

Характер искусственного рифа	Изменение в долгосрочной перспективе	Техногенная геологическая структура (тело)
Конструкция из отходов, выведенных из эксплуатации плавсредств и сооружений	Возникновение деградирующего засоряющего сооружения, захоронение его фрагментов в наносах	Техногенные структуры, блоки, включения и структурные элементы в составе подводных отложений
Трансформирующиеся искусственные рифы из естественных материалов	Формирование субстратов, близких по свойствам к естественным грунтам	Природно-техногенные подводные тела
Труднодемнтируемые искусственные рифы	Образование устойчивых к разрушению засоряющих сооружений	Техногенные тела в составе подводных участков земной коры

Большинство искусственных рифов, состоящих из стойких материалов, все равно рано или поздно утрачивают свое значение и превращаются в техногенные структуры или тела. Процессы их образования различны. С этой точки зрения наибольший интерес представляют собой две категории искусственных рифов. Во-первых, это *трансформирующиеся искусственные рифы*, которые со временем должны превращаться в субстраты, близкие по свойствам к естественным грунтам (Суздалева, Горюнова, 2014).

Подобные сооружения, например, возводились при комплексном инженерно-экологическом обустройстве курортной зоны г. Анапа (Черное море). На многих участках побережья этого района в середине XX века были организованы искусственные пляжи, создание которых сопровождалось уничтожением прибрежного пояса подводной растительности (макрофитов). Это было связано с тем, что для существования большинства видов макрофитов необходимы твердые субстраты (скалы, крупные камни), к которым водоросли могли бы прочно прикрепляться. При создании искусственных пляжей подобные участки на дне прибрежной зоны исчезали. Вместе с тем, донная растительность имеет важнейшее значение в процессах самоочищения морских вод, и ликвидация пояса макрофитов в условиях интенсивного рекреационного использования акватории способствовала усилению ее загрязнения. Поэтому в ходе инженерно-экологического обустройства анапской курортной зоны с целью восстановления водорослевого пояса на некотором удалении от пляжной зоны были созданы искусственные рифы, представляющие собой подводные каменные насыпи. Из них постепенно формировались элементы подводного ландшафта, по своей структуре и составу близкие к ранее уничтоженным естественным подводным твердым субстратам. Материалом для этих искусственных рифов служили горные породы, слагающие берега моря в этом районе. Поэтому при включении в состав земной коры эти образования можно рассматривать как природно-техногенные подводные тела.

Во-вторых, это труднодемонтируемые искусственные рифы. В большинстве случаев их основу составляют массивные железобетонные конструкции. Примером могут служить герметичные подводные галереи морских аквапарков, проходя по которым, туристы через остекленные проемы могут непосредственно наблюдать специально созданный для них красивый и отличающийся высоким биоразнообразием подводный

ландшафт. В некоторых странах создаются подводные парки с массивными бетонными скульптурами (включая мемориальные статуи) и даже зданиями, имеющими надводную и подводную части (рис. 7.6) (Имбринцев и др., 2015; Метечко и др., 2017).

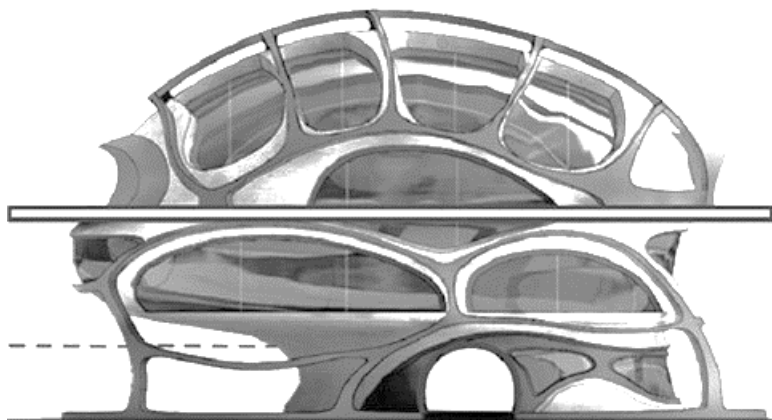


Рисунок 7.6. Здание в подводном парке (по Имбринцев и др., 2015)

Предполагается, что эти сооружения помимо прочего будут выполнять роль искусственных рифов. Но как показывает исторический опыт, большинство создаваемых человеком сооружений по прошествии определенного срока утрачивает свою значимость, а занимаемое ими пространство может начать использоваться в иных целях. Демонтаж и изъятие из водной среды массивных железобетонных сооружений потребует очень больших затрат. Поэтому, можно предположить, что после вывода из эксплуатации таких искусственных рифов на их основе либо возникнут техногенные геологические тела, формирующие участок подводной поверхности земной коры, либо они будут использованы в качестве основания расширяющихся территорий ИЗУ и ИО.

7.4. ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА (ФОРМАЦИИ) ПОРТОВЫХ И БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ, А ТАКЖЕ ИСКУССТВЕННЫХ ПЛЯЖЕЙ

Размещение в одном разделе материалов, касающихся техногенных тел, столь разнородных по своему предназначению и процессам образования, обусловлено общностью их роли в техногенезе литосферы. Во-первых, большинство из них создаются как надводные поверхности. Вместе с тем, в отличие от искусственных земельных участков и искусственных островов, они не предназначены для проживания людей⁹⁵. Их площадь существенно меньше и они, как правило, имеют вытянутую в одном направлении форму, обеспечивающую наибольшую протяженность на границе между водной и наземной средой. У портовых причалов это дает возможность одновременного обслуживания большого количества судов; у берегозащитных сооружений – защиту участка берега от размыва при минимальном расходе материалов, затраченных на их строительство; а на искусственных пляжах создает условия для размещения непосредственно на морском (речном) берегу значительного количества отдыхающих.

Во-вторых, срок эксплуатации всех этих сооружений ограничен. Но их вывод из эксплуатации почти никогда не сопровождается полным демонтажом. Во многих случаях они превращаются в **засоряющий объект**, т.е. бесхозные разрушающиеся гидротехнические сооружения (Безносов, Суздалева, 2005). Значительная часть материалов, из которых они создавались, включается в состав подводных участков литосферы, формируя техногенное тело. В ряде случаев оно используется в качестве

⁹⁵ Но четкой границы между этими категориями сооружений не существует. Так, некоторые искусственные острова первоначально создаются как дополнительный комплекс портовых сооружений или рекреационный объект, окаймленный искусственными пляжами.

основания для новых сооружений, но уже является не сооружением, а частью геологической среды.

В-третьих, большинство из рассматриваемых объектов состоит или включает массивы твердых материалов, приближающихся по своим прочностным свойствам к естественным скальным горным породам. В т.ч. это относится и к искусственным пляжам, организация которых, как правило, сопровождается возведением массивных бун.

В соответствии со статьей 4 Федерального закона «О морских портах в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 08.11.2007 г. №261-ФЗ, **портовые гидротехнические сооружения** включают широкий спектр различных инженерно-технических сооружений, в т.ч. волноломов, дамб, молов, пирсов, причалов, а также подходных каналов и сооружений, созданных в результате проведения дноуглубительных работ, предназначенных для обеспечения безопасности мореплавания в акватории порта и стоянки судов.

По назначению выделяют следующие основные категории портовых сооружений (Яковлев и др., 1990; Ключиков, 1999):

- берегоукрепительные и оградительные, защищающие портовую акваторию и ее берега от волнения, течений, донных наносов и дрейфующих льдов;
- причальные, используемые для погрузочно-разгрузочных работ;
- специфические, необходимые для ремонта судов (доки и др.);
- морские судоходные каналы – искусственные пути для перемещения судов по акватории порта;
- обеспечивающие безопасность судоходства (маяки и др.).

Из типовой схемы портовых сооружений, представленной на рис. 7.7, следует, что участок земной коры в пределах акватории порта подвержен многоплановой техногенной трансформации, в

которую также следует включить интенсивное химическое загрязнение подводных грунтов и их засорение различными техногенными блоками и включениями (потерянными или брошенными частями судовых механизмов, затопленных стройматериалов и др.).

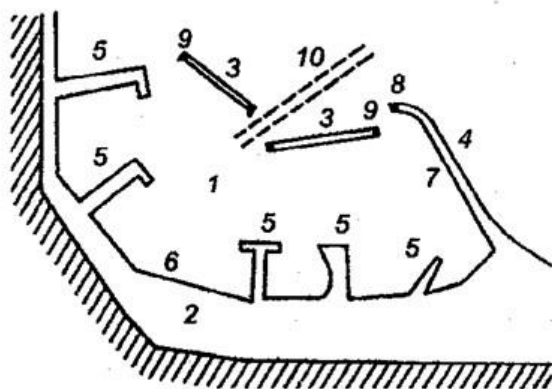


Рисунок 7.7. Типовая схема морского порта: 1 – акватория порта; 2 – территория порта; 3 – волнолом; 4 – мол; 5 – пирс; 6 – набережная; 7 – бассейн; 8 – маяк; 9 – портовые огни; 10 – подходной канал (по Клюйков, 1999)

Следует так же учитывать, что часть сооружений большинства крупных портов почти постоянно реконструируется в соответствии с новыми технологиями производства работ. Нередко это усугубляет техногенную трансформацию подводных и прибрежных участков литосферы.

Наконец, существуют примеры, когда в силу некоторых обстоятельств эксплуатация порта или его части становится экономически нецелесообразной. В этих случаях происходит постепенное разрушение (руинизация) портовых сооружений, что также является одним из видов техногенеза, так называемым посттехногenezом (Суздалева, Горюнова, 2014), который в данном случае затрагивает и геологическую среду. Таким образом, земная

кора в пределах акватории любого крупного порта закономерно превращается в комплекс техногенных геологических тел и формаций, среди которых можно выделить три основных вида:

- руинизированные тела (формации), формирующиеся из заброшенных (в т.ч. частично демонтированных) капитальных портовых сооружений (волноломов, молов, пирсов и др.);

- седиментационные тела, формирующиеся из засоренных техногенными структурными элементами и включениями подводных грунтов;

- вторичные тела, образующиеся в результате миграции и последующей аккумуляции на новых участках акватории порта или прилегающих к ней участков наносов, включающих значительное количество техногенных материалов (например, заполнение подобными наносами судоходных каналов и бассейнов для стоянки судов, ранее созданных в результате проведения дноуглубительных работ).

Оценивая значимость возведения и эксплуатации портовых гидротехнических сооружений в процессе техногенеза литосферы, следует вспомнить, что в ряде регионов их совокупный объем весьма значителен и сопоставим с масштабами отвалов и хвостохранилищ крупных горнодобывающих предприятий. Так, порт Сан-Франциско, состоящий из 40 гаваней (оборудованных гидротехническими сооружениями стоянок судов) в общей сложности занимает более 70 км береговой линии, а порт Роттердам включает 50 км причальных набережных (Амбарян и др., 1987).

Берегозащитные сооружения – это гидротехнические сооружения, используемые для защиты морских берегов и пляжей от разрушения их волнами и течениями (Свод правил ..., 1998). Их можно разделить на две категории: поперечные, отходящие от береговой черты в сторону моря, и продольные, расположенные непосредственно вдоль берега или на некотором удалении от него. Примером поперечных берегозащитных сооружений могут служить

буны, защищающие от размыва искусственные пляжи. К продольным берегозащитным сооружениям, примыкающим к берегу, относятся берегоукрепительные стенки и сооружения откосного типа. В большинстве случаев это массивные бетонные конструкции, расположенные под различными углами к поверхности воды. По своим свойствам они приближаются к скальным горным породам, устойчивым к разрушению прибоем (абразии). Подобный метод, заключающийся в защите берегов от размыва путем создания на них защитных барьеров, называется пассивным (Смирнов и др., 1988; Ключиков, 1999; Ананьев, Потапов, 2002). Другой метод, обозначаемый как активная защита берегов, основан на изменении гидрологического режима акватории, например, гашении энергии волн на пути их распространения (Яковлев и др., 1990). Подобную функцию выполняют различные сооружения, называемые **волноломами**. Например, подводные волноломы, являющиеся распространенным типом поперечных защитных сооружений, размещаются на расстоянии нескольких десятков метров от берега на глубине 3-4 м (рис. 7.8). Соприкасаясь с ними, морские волны теряют большую часть своей энергии. При этом происходит искусственное осаждение влекомых ими наносов, которые формируют за волноломом аккумулятивное природно-техногенное тело⁹⁶. Скорость движения воды в пространстве за подобным защитным сооружением снижается постепенно, что может привести к дифференциации осаждаемого материала. Вблизи волнолома накапливаются приносимые волнами относительно крупные камни, а вблизи берега – песок.

⁹⁶ Подобное образование можно отнести к категории природно-техногенных по причине того, что оно возникает в результате осаждения влекомого волнами естественного материала из-за изменения скорости движения воды, вызванного техногенным объектом (волноломом).

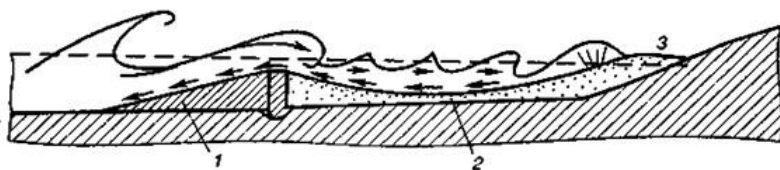


Рисунок 7.8. Схема подводного волнолома: 1 – волнолом; 2 – крупноразмерные фракции наносов; 3 – мелкоразмерные фракции наносов (по Ананьев, Потапов, 2002)

Таким образом, образующееся вследствие сооружения волнолома природно-техногенное тело становится гетерогенно-зональным.

Согласно официальному определению, **искусственный пляж** – одно из сооружений для защиты берегов от размыва или для расширения пляжа в рекреационных целях (Свод правил ..., 1998). Искусственные пляжи могут создаваться как в комплексе со специальными сооружениями, предохраняющими их от размыва, так и без них. Пляжи, существующие без пляжеудерживающих сооружений, называют свободными.

В настоящее время искусственные пляжи создаются на побережье различных стран (Дунаев и др., 2020; Martell et al., 2020). В России эта деятельность получила наибольшее развитие на Кавказском побережье Черного моря, где основной целью является повышение рекреационной привлекательности прибрежных территорий (Пешков, 2005; 2008). В других регионах, напротив, искусственные пляжи создаются, главным образом, для защиты берегов от размыва (Леонтьев, 2019).

Материалы для создания искусственного пляжа (песок, гравий) добываются из карьеров или намываются с прилегающего дна. Таким образом они также как прибрежные тела формируются из насыпных и намывных техноземов.

Пляжеудерживающие сооружения – это гидротехнические сооружения, используемые для защиты насыпных пляжей от

разрушения волнами и течениями. Они являются разновидностью морских берегозащитных сооружений. Их наиболее распространенные формы – берегозащитные бермы (банкеты) и буны. Существуют также иные виды берего- и пляжезащитных сооружений (Яковлев и др., 1990; Ключиков, 1999). Как правило, они создаются из стойких материалов и после вывода из эксплуатации формируют в литосфере новое техногенное тело или структуру.

Берегозащитная берма (банкет) – это наброска из камня или фасонных бетонных блоков по внешнему контуру пляжа. В первом случае ее создание нередко осуществляется путем отсыпки с берега раздробленных горных пород. Действующим нормативом (Свод правил ..., 1998) в качестве фасонных бетонных блоков рекомендовано четыре типа: тетраподы, долосы, гексалеги и диподы (рис. 7.9). Каждый из них существует в нескольких модификациях с массой от 1 до 13-15 тонн.

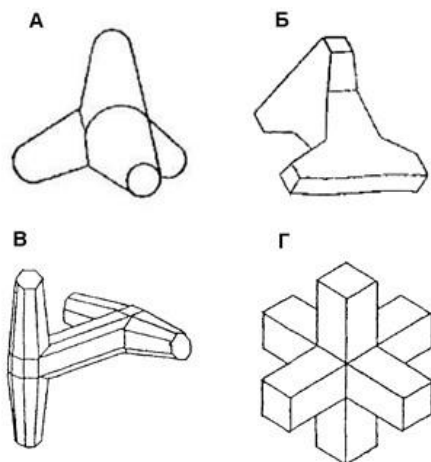


Рисунок 7.9. Типы бетонных фасонных блоков: А – тетрапод; Б – долос; В – гексалег; Г – дипод (по Свод правил ..., 1998)

Буны представляют собой выдвинутые от берега в сторону моря дамбы (рис. 7.10). Расположенные в пространстве между двумя или несколькими бунами искусственные пляжи и берега защищены от размыва прибоем.

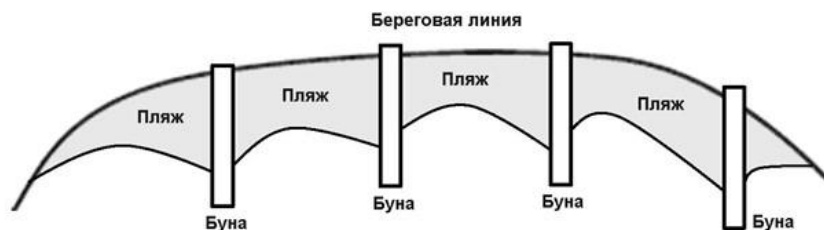


Рисунок 7.10. Схема искусственного пляжа, защищенного от размыва бунами.

Обычно необходимость создания искусственных пляжей возникает на участках, где естественное отложение мелкозернистых фракций не происходит или, когда процесс их миграции преобладает над скоростью отложения⁹⁷. Материал создаваемых на таких участках искусственных пляжей постоянно размывается. Данный процесс сопровождается изменением его гранулометрического состава – в нем заметно повышается количество более крупных частиц, менее подверженных вымыванию (Eitner, Ragutzki, 1994). По этой причине свободные искусственные пляжи могут сохраняться лишь при условии периодической дополнительной отсыпки или намыва слагающих их материалов. Данная операция обозначается как *artificial beach nourishment* (Eitner, Ragutzki, 1994) – искусственная подпитка пляжа.

Размывание материала пляжей происходит и при возведении пляжеудерживающих сооружений, которые, как правило, лишь сдерживают развитие данного процесса. Таким образом, их

⁹⁷ Исключением являются случаи замены материала пляжа для улучшения эстетики морского курорта или резорта, а также при загрязнении естественных пляжей во время аварийных разливов нефти.

подпитка представляет собой необходимое профилактическое мероприятие практически для всех категорий искусственных пляжей, а сами они представляют собой пополняемые техногенные тела. При отсутствии периодической искусственной подпитки их площадь и объем, как правило, сокращаются, и пляжи можно рассматривать как деградирующие тела.

В странах, где для защиты морских берегов от размыва широко используются искусственные пляжи, объемы их подпитки достигают весьма значительного уровня. Так, в Нидерландах с 1952 по 1989 год в этих целях было использовано 60 млн м³ песка (Martell et al., 2020). Эта деятельность по сохранению и расширению берегозащитных искусственных пляжей, обозначаемая как «стратегия Sand Engine» будет продолжена и в будущем (Van Slobbe et al., 2013)

Размываемый материал пляжей (намывные и насыпные техноземы) формирует донные наносы. Их последующая миграция и аккумуляция на определенных участках дна приводит к образованию вторичных аккумулятивных техногенных геологических тел (рис. 7.11). Таким образом, создание и подпитка искусственных пляжей в перспективе приводит к образованию техногенной геологической формации, состоящей из:

- тела искусственного пляжа;
- пляжезащитных сооружений;
- вторичных техногенных тел, формирующихся из продуктов размыва материала искусственного пляжа.



Рисунок 7.11. Миграция материала искусственного пляжа

7.5. ПОДВОДНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Совокупность гидротехнических работ, связанных с дноуглублением, намывом и перемещением большого объема донных грунтов, в специальной литературе получила название **дреджинг** (Gray, 2008). Она приобретает все большие масштабы (Рыбалко и др., 2017) и практически всегда сопровождается образованием комплекса значительного по своему объему подводных техногенных тел, которые можно обозначить как **дреджинговые**. Они могут достигать весьма значительных масштабов. Так, в зал. Находка вблизи о. Лисий на участке, первоначально имевшим глубину 25-35 м, из продуктов

дноуглубительных работ, осуществлявшихся в портовой акватории, сформирована насыпь высотой от 5 до 25 м и длиной свыше 1,5 км (Жариков и др., 2011). Объем этого подводного техногенного тела составляет приблизительно 2,0-2,5 млн м³.

Различают три основных вида дреджинга (Шилин и др., 2010):

1. **Капитальный дреджинг** – изменение рельефа морского дна при реализации новых проектов, например, при строительстве портов и крупных гидротехнических сооружений или морской добыче полезных ископаемых. Его характерными чертами являются:

- изъятие (экскавация) грунтов естественного происхождения или грунтов, у которых техногенной трансформации ранее подвергался только верхний слой;

- значительная мощность изымаемых грунтов – от нескольких метров до нескольких десятков метров;

- перемещение в течение короткого промежутка времени больших объемов подводных грунтов;

- относительно низкий по сравнению с другими видами дреджинга уровень загрязненности подводных грунтов и их засоренности техногенными структурными элементами, включениями и блоками.

2. **Ремонтный дреджинг** включает комплекс работ по периодическому удалению наносов, накапливающихся в искусственно созданных ранее углублениях подводного рельефа, например, в прорытых судовых ходах на акватории порта. Изымаемые наносы нередко характеризуются высоким уровнем загрязненности и могут содержать значительное количество техногенных структурных элементов, включений и блоков – засоряющих предметов (Безносков, Суздалева, 2005). Вместе с тем, объем перемещаемых материалов в данном случае несравненно меньше, чем при капитальном дреджинге.

3. **Очистной дреджинг** осуществляется с целью изъятия сильно загрязненных подводных отложений или засоряющих агентов (например, затопленной древесины и иных техногенных блоков) с целью улучшения экологического состояния акватории и повышения безопасности ее рекреационного использования. Эти материалы должны отправляться на специальные предприятия по переработке. После очистки они могут использоваться даже для формирования прибрежных техногенных тел, размещаемых в рекреационной зоне. Например, подобное решение проблемы было успешно осуществлено в рамках проекта «Тапарура», целью которого было восстановление средиземноморских пляжей Сфакс (Тунис) (Шилин и др., 2010).

При капитальном дреджинге захоронение изъятых подводных грунтов во многих случаях осуществляется на других участках морского дна⁹⁸, которые обозначаются как полигоны **дампинга** или подводные отвалы. Они представляют собой одну из разновидностей подводных техногенных геологических тел – **массивные дреджинговые тела** или **дреджинговые массивы**. Грунты, изъятые в процессе дноуглубительных работ, могут быть удалены на значительное расстояние от места возведения нового объекта, куда они доставляются на баржах или с помощью специальных плавсредств, так называемых «**хоппер дреджеров**». При осуществлении ремонтного и очистного дреджинга продукты дноуглубительных работ могут сбрасываться вблизи их изъятия (например, выноситься за пределы судового хода). В этом случае они образуют отдельные подводные техногенные структуры. В других

⁹⁸ Их захоронение может также осуществляться на суше, например, для заполнения карьеров, подпитки размываемых пляжей или создания берегозащитных дамб в прибрежной зоне моря (Волнина, 2011; Чусов, 2015). Кроме того, подводные грунты, изымаемые в процессе дреджинга, используются для создания искусственных земельных участков и искусственных островов (см. разд. 7.2).

случаях проведение ремонтного или очистного дреджинга предполагает перемещение поднятых грунтов и наносов на полигоны, уже созданные при осуществлении капитального дреджинга. При этом варианте захоронения они могут сформировать отдельный, как правило, более загрязненный и засоренный слой на поверхности ранее образовавшегося дреджингового массива.

Для размещения грунтов на новом участке акватории используются различные способы от прямого сброса с барж, имеющих раздвижное днище, до заливки дна пульпой, подаваемой из резервуаров землесосных судов (Врау, 2008). Но практически всегда структура и состав техногенных тел, образующихся на полигонах, отличаются от естественных морских грунтов, из которых они были сформированы. Основная причина – многоплановое механическое воздействие на грунты, неизбежно сопровождающее комплекс операций, которые включают дреджинговые работы (экскавация грунта, его транспортировка, сброс (дампинг) на полигоне). Если толщина изымаемых подводных грунтов была стратифицирована, а их снятие и транспортировка проводились последовательно, то образующееся техногенное тело (дреджинговый массив) может обладать **обратной стратификацией** или при закономерном смещении точки сброса иметь **зонально-гетерогенную структуру**. Подобная гетерогенность может возникнуть и в случае, если состав грунтов на срабатываемой поверхности изначально неоднороден. Но в большинстве случаев при образовании дреджинговых тел следует ожидать смешения материала различных слоев подводных грунтов.

Экскавация и сброс подводных грунтов всегда сопровождаются потерей части, содержащихся в них мелкозернистых частиц, которые в виде взвеси разносятся по значительной акватории (Сухачева, 2014). Взмучивание грунтов (особенно их глубоких слоев)

обычно сопровождается их частичным растворением в воде (выщелачиванием компонентов) (Рыбалко, Федорова, 1996). Об этом, например, свидетельствует отмеченное в некоторых районах дреджинга резкое повышение в воде содержания тяжелых металлов и стойких органических загрязнителей (Мишуков и др., 2009; Ware et al., 2010; Жариков и др., 2011; Корнеев и др., 2014; Рыбалко и др., 2017). Распространение этих веществ в морской среде при взмучивании подводных грунтов, неизбежно сопровождающем дреджинговые работы, может приводить к формированию загрязненных осадков на значительных участках дна (Петренко и др., 1998; Stronkhorst et al., 2003; Fredette, French, 2004; Жариков, 2013; Ломакин, 2019). Таким образом, вокруг участка дреджинга формируются зоны техногенного влияния, охватывающие обширные акватории, непосредственно не затронутые дноуглубительными работами (рис. 7.12).

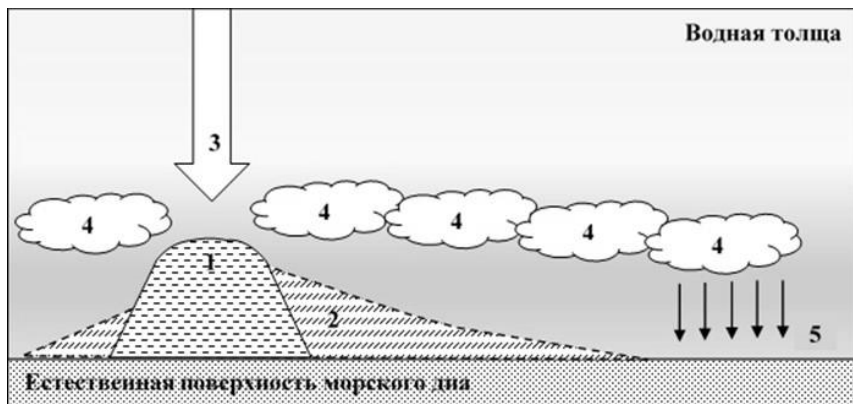


Рисунок 7.12. Трансформация дреджингового тела и распространение в подводной среде продуктов дноуглубительных работ: 1 – первоначальная форма дреджингового тела; 2 – его дальнейшая трансформация под воздействием гравитационных сил и внешних факторов; 3 – дампинг грунта; 4 – шлейф взвеси (взмученной воды); 5 – оседание взвешенных частиц, обуславливающих возникновение зоны техногенного влияния.

При обнажении в процессе экскавации подповерхностных слоев грунта активизируются процессы химического и микробиологического разложения содержащихся в них веществ. Данные факторы также способны обусловить существенную трансформацию химического состава образующихся техногенных тел. В течение относительно непродолжительного периода существенные изменения может претерпевать и морфология дреджинговых тел. Например, под действием гравитационных сил они могут «соскальзывать» по уклону подводного рельефа на новые участки (рис. 7.12). Изменение формы и площади дреджинговых тел может способствовать ряд факторов, в т.ч. уклон подводного рельефа и морские течения. Так, изъятые из акватории порта Владивосток (бухта Золотой Рог) загрязненные грунты (черные глины) распространились по уклону подводного рельефа на значительное расстояние от района дампинга в Амурском заливе, образовав на участке дна площадью 9х9 км слой техногенных наносов более 5 см (Мишуков и др., 2009). Данный процесс сопровождался деградацией морской экосистемы и ухудшением качества морских вод, в т.ч. снижением в придонных слоях содержания растворенного кислорода.

7.6. ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ДОННЫХ НАНОСОВ

Под *техногенными донными наносами* в монографии понимаются скопления, которые образовались в результате осаждения в водных объектах мелкоразмерных частиц, возникших в результате человеческой деятельности. Для обозначения данного процесса предложен термин *«аквальный техноседиментогенез»* (Опекунов, 2004). Его примером может являться образование на дне рек и водохранилищ осадков, основу которых составляют продукты эрозии горных отвалов и хвостохранилищ, расположенных на

территории водосборного бассейна. **Природно-техногенные донные наносы** – это скопления, сформировавшиеся в результате процессов седиментогенеза, характер которых одновременно определялся как естественными факторами, так и человеческой деятельностью. Существуют две основных категории подобных образований. Во-первых, это наносы, в которых техногенные компоненты присутствуют в значительном количестве, но основную массу составляют материалы, образовавшиеся в ходе природных процессов. Во-вторых, к природно-техногенным можно отнести наносы, возникшие из взвесей естественного происхождения, условия для осаждения которых возникли благодаря человеческой деятельности. Например, это отложения ила и песка в застойных зонах у подводных частей гидротехнических сооружений. Четкой границы между природными и природно-техногенными наносами не существует. В техногенных наносах практически всегда присутствуют продукты естественного седиментогенеза, а природно-техногенные наносы включают частицы искусственного происхождения. Но во всех случаях происходит спровоцированный человеком техногенный седиментогенез, который, как и аналогичный естественный процесс может стать первой стадией образования массивов осадочных пород (литогенеза) (Вассоевич, 1957; Страхов, 1960). Таким образом, это путь формирования **седиментационных техногенных и природно-техногенных геологических тел.**

Среди многообразных форм воздействия человеческой деятельности процессы формирования подводных наносов можно условно разделить на следующие основные категории.

1. Терригенный техноседиментогенез – процесс, обусловленный урбанизацией, добычей полезных ископаемых, сельскохозяйственным освоением земель и другими видами деятельности, сопровождающимися трансформацией и снижением

устойчивости к эрозии верхних слоев земной коры. В целом развитие этого процесса соответствует классической схеме седиментогенеза Н.М. Страхова (1960), которая включает три стадии:

1) разрушение верхнего слоя горных пород (образование коры выветривания);

2) перенос отделяющихся частиц вещества (главным образом, водой);

3) оседание этих частиц на дне водоема и формирование из них отложений.

Техногенез литосферы часто сопровождается разрыхлением и снижением прочностных свойств выходящих на поверхность слоев горных пород и грунтов. Н.М. Страхов обозначал совокупность естественных процессов, приводящих к аналогичному результату, как «мобилизация веществ в коре выветривания». Еще в большей степени подвержены эрозии (мобилизации вещества) поверхностные техногенные тела, которые формируют **техногенную кору выветривания**. Особенно интенсивно эти процессы происходят в скоплениях раздробленных горных пород (отвалы, хвостохранилища), а также искусственных материалов и отходов. Для их обозначения предложен специальный термин «**техногенный меланж**»⁹⁹ (Несмеянов и др., 2009; Несмеянов, Воейкова, 2020).

Таким образом, техногенез поверхностных слоев литосферы закономерно приводит к увеличению количества мелкодисперсных материалов, поступающих в гидрографическую сеть, общему увеличению массы **твердого стока** рек и интенсивности седиментогенеза в водных объектах. Например, скорость осадкообразования в некоторых районах Азовского моря в

⁹⁹ Под меланжем подразумевается смесь разнообразных измельченных горных пород и искусственных материалов.

последние десятилетия возросла в 30-40 раз (Ломакин, Спиридонова, 2008).

Одновременно происходит и изменение характера перемещаемых материалов. Так, в современных русловых отложениях уральских рек, протекающих в промышленных районах, в значительных количествах присутствуют частицы угля и шлаков, металлическая стружка, мелкие фрагменты различных строительных материалов и стекла (Янин, 2018).

Осаждение частиц искусственного происхождения и формирование седиментационных техногенных тел происходит в различных участках гидросферы. Так, интенсивное образование техногенных и природно-техногенных наносов происходит в континентальных водных объектах, водосборный бассейн которых трансформирован в процессе сельскохозяйственного и промышленного освоения территорий и их урбанизации (Кузнецов и др., 1996; Даувальтер, 2002; Опекунов, 2005; Опекунов и др., 2017). Миграция техногенных взвесей со стоком рек может вызвать образование масштабных седиментационных тел в эстуариях и прибрежных морских акваториях. Подобные тенденции уже отмечены в ряде работ (Мотычко и др., 2011; 2013).

Техногенные взвеси могут поступать в моря не только с твердым стоком рек, но и в результате непосредственного сброса в них мелкодисперсных или склонных к фрагментации отходов с предприятий, расположенных на прибрежных территориях. Например, материал некоторых пляжей г. Таганрога (Азовское море) на 25% и более состоит из частиц шлака и других отходов, образовавшихся на расположенных в этом районе промышленных предприятиях (Ивлиева, Фроленко, 2003). Доля техногенных компонентов весьма значительна и в мягких грунтах подводного склона. Аналогичные явления отмечены и Кольском заливе Баренцева моря (Шахвердов, Шахвердова, 2016).

На современном этапе всю большую долю техногенных взвесей составляют так называемые микро- и нанопластики, являющиеся продуктами механического разрушения (фрагментации) синтетических материалов (Soares et al., 2020). Первая из этих фракций имеет размер менее 5 мм, а вторая – менее 100 нм. Микро- и нанопластики в значительных количествах обнаруживаются в донных отложениях практически во всех участках Мирового океана, включая отдаленные от суши глубоководные районы (Bergmann et al., 2017; Knutsen et al., 2020). В них также могут осаждаться техногенные частицы и иного состава. Таким образом, терригенный техноседиментогенез постепенно распространяется и на центральные части морских акваторий, становясь все более значимой составляющей процесса бассейнового седиментогенеза, описанного Н.М. Страховым (1960).

Непрерывно возрастающие масштабы миграции в моря терригенного материала уже вызывают у некоторых современных специалистов опасения, что дальнейшее развитие этих тенденций может даже привести катастрофическому повышению уровня Мирового океана (Гулин, 2015). Несомненно, в настоящее время подобное суждение звучит фантастично. Но следует вспомнить, что столь же неправдоподобно звучали в конце XIX века опасения возможного техногенного изменения состава атмосферы (парникового эффекта), даже когда они высказывались таким известным ученым как Сванте Август Аррениус¹⁰⁰ (Семенов, 2015). Следует также добавить, что изменение уровня Мирового океана гипотетически может быть обусловлено совокупным эффектом нескольких процессов: терригенным техноседиментогенезом, засорением морских акваторий аллохтонными материалами (см.

¹⁰⁰ А впервые теоретическая возможность развития парникового эффекта была обоснована еще за полвека до этого – в 1827 году французским ученым Жан-Батистом Жозефом Фурье.

разд. 7.7) и интенсивно развивающейся деятельностью по созданию искусственных земельных участков и островов.

2. Внутрибассейновый техноседиментогенез – процесс, включающий все спровоцированные человеческой деятельностью формы переотложения донных осадков, в пределах определенной акватории. Данный процесс также имеет три основных стадии:

1) размыв донных отложений в процессе человеческой деятельности или косвенно ей спровоцированной (мобилизация донных отложений);

2) перемещение образовавшихся взвесей морскими течениями;

3) оседание частиц и образование наносов на новом участке акватории.

Подобные явления, например, практически всегда сопровождают дреджинговые работы, последствия которых описаны в разделе 7.5. Нередко образование наносов при их внутрибассейновом переотложении происходит около искусственных преград (бун, пирсов и др.), замедляющих течение воды. Образующиеся в этих случаях техногенные тела следует рассматривать не как седиментационные, а как барьерно-аккумулятивные.

3. Эвтрофикационный техноседиментогенез. Под **эвтрофированием** (эвтрофикацией) вод понимают скачкообразное увеличение продуктивности водных растений (прежде всего, микроскопических водорослей – фитопланктона). В континентальных водоемах подобные явления обозначаются как «цветение воды», а в морях – как «красные приливы». В настоящее время их основной причиной является загрязнение человеком водных объектов стоками с высоким содержанием так называемых биогенных элементов или биогенов (главным образом, это азот и фосфор). Их содержание в воде и определяет уровень развития фитопланктона. По этой причине в научной литературе термин эвтрофирование в большинстве случаев употребляется как синоним

понятия антропогенное эвтрофирование. Вместе с тем, существуют и процессы естественного эвтрофирования (например, связанные с поступлением в окружающую среду большого количества биогенов при вулканических извержениях). Эти явления, которые как мы рассмотрим несколько позже, играли значимую роль в формировании земной коры в предшествующие геологические периоды.

Вызванные эвтрофированием вспышки развития фитопланктона нарушают баланс трофических (пищевых) связей между звеньями экосистемы. Биомасса водорослей во время подобных явлений на порядки превышает их количество, которое может быть поглощено естественными потребителями (зоопланктоном, донными организмами-фильтраторами). Трофический дисбаланс усиливается тем, что значительная часть водных животных в периоды цветений воды и красных приливов гибнет в результате отравления выделяемых водорослями веществ, а также продуктами их разложения. В результате образуется огромное количество частиц неиспользованного органического вещества, оседающего на дно. В обычных условиях не более 10% массы водорослей покидает поверхностный слой моря. В условиях красного прилива их доля возрастает в несколько раз (Безносов, 2000а). Оседанию отмерших водорослей способствует их агрегация, т.е. образование хлопьевидных и иных структур, состоящих из множества прикрепленных к друг другу клеток. В результате этого на дне образуются богатые органическим веществом отложения. Таким образом, эвтрофикационный техноседиментогенез включает следующие стадии:

1) поступление в водный объект значительного количества соединений биогенных элементов (азота и

фосфора);¹⁰¹

2) массовое развитие фитопланктона;

3) возникновение потока оседающих частиц из отмерших водорослей;

4) образование биогенных отложений.

Значительная часть осевшей на дно массы седиментов, содержащих большое количество органических веществ, разлагается бактериями. Этот процесс часто сопровождается катастрофическим для обитателей придонных слоев снижением концентрации растворенного кислорода (замором) и выделением в среду токсичного для них сероводорода. Таким образом, эвтрофикационный техноседиментогенез может стать причиной образования деградирующих подводных тел, которые даже при относительно небольшой мощности способны занимать огромные участки дна. Микробиологическому разложению и превращению в растворенные вещества подвергается только часть осевшей массы отмерших водорослей. Оставшаяся часть в процессе литогенеза формирует осадочные породы. Об их потенциальных масштабах можно судить по некоторым палеонтологическим материалам (Безносков, 2000б). Так, в конце мелового периода красные приливы охватили значительную часть существовавшего Мирового океана (Найдин и др., 1986). Возможно, их причиной стало падение крупного метеорита, вызвавшего перемешивание слоев водной толщи (дестратификацию) и подъем к поверхности придонных слоев воды, содержащих большое количество азота и фосфора. Доминирующая группа фитопланктона – водоросли-

¹⁰¹ Следует отметить, что причиной нежелательного обогащения поверхностного слоя водных объектов биогенами может являться не только сброс сточных вод. Эвтрофирование может произойти также вследствие взмучивания грунтов или подъема к поверхности богатых биогенами глубинных вод при техногенном перемешивании водной толщи (ее дестратификации) (Безносков и др., 1998/1999).

кокколитофориды – имела известковый скелет. Образовавшиеся из них на дне океана скопления осадочных пород сформировали мощные отложения пещего мела, по которым был назван данный геологический период. Возможно, что глобальный экологический кризис на границе мезозоя и кайнозоя (мела и палеогена), сопровождавшийся вымиранием многих таксономических групп организмов (например, динозавров), был вызван изъятием из атмосферы огромных количеств углекислого газа, произошедшим при образовании известкового скелета кокколитофорид и последующим захоронением в донных осадках в виде образовавшихся таким образом карбонатов.

На современном этапе крупномасштабная дестратификация Мирового океана может быть вызвана различными видами человеческой деятельности (в т.ч. освоением подводных месторождений полезных ископаемых). Возникновение в результате этого техногенных седиментационных тел также может привести к изменению биогеохимических циклов и иметь весьма серьезные экологические последствия (Безносков, Железный, 2000).

7.7. ЗАСОРЕНИЕ ДНА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Под *засорением водных объектов* понимается поступление в них различных нерастворимых (труднорастворимых) инородных предметов (Суздаева, Горюнова, 2014). Таким образом, *агент засорения* – это не химическое соединение, а образование, состоящее из твердого вещества, способное длительное время сохраняться в водной среде. В отличие от формирования наносов засорение – это не результат процесса седиментогенеза микроскопических частиц, а внедрение в подводные отложения техногенных блоков, включений и аллохтонных структурных элементов. Если аквальный техноседиментогенез приводит к образованию гомогенных тел, то результатом засорения становится

возникновение равномерно- и гетерогенно-агрегированных техногенных тел.

На современном этапе основная часть предметов, рассматриваемых как агенты засорения, является прямым или косвенным результатом различных видов человеческой деятельности. В связи с этим в монографии термин засорение водных объектов используется как синоним понятий антропогенное или техногенное засорение¹⁰².

Размеры этих предметов колеблются в весьма широком диапазоне: от мелких фрагментов различных материалов, использовавшихся человеком, до бесхозных гидротехнических сооружений или затопленных (затонувших) судов, которые можно рассматривать как отдельную категорию агентов засорения – **засоряющие объекты** (Безносков, Суздалева, 2005).

Согласно данным UNEP (United Nations Environment Programme – Программа ООН по окружающей среде) ежегодно в Мировой Океан попадает более 6 млн тонн мусора (UNEP, 2009). Состав его агентов весьма разнообразен. Наиболее распространенными их категориями являются стеклянные бутылки, металлические банки и бочки, обрывки рыболовных снастей, обломки строительных материалов, каменный уголь и агрегаты из затвердевших нефтепродуктов, фрагменты судовых конструкций и вышедшие из употребления разнообразные бытовые изделия (Cauwenberghe et al., 2013; Майсс и др., 2018; Kuroda et al., 2020). Но преобладающим видом, иногда составляющим более 90% массы мусора, являются различные изделия из синтетических материалов и их фрагменты, т.е. пластиковый мусор (Cruz et al., 1990; Derraik, 2002; Strafella et al., 2019; Лобчук, Килесо, 2020; Kane, Fildani, 2021).

¹⁰² Существует также и природное засорение водных объектов, например, попадание в них взвесей в процессе природной эрозии почв и грунтов, затопление древесной растительности, попадающей в воду при размыве берегов во время наводнений и т.п.

Процесс засорения гидросферы в значительной мере происходит неконтролируемо и постепенно охватывает всю ее площадь (Кузина, Тевризова, 2018). Морской мусор подразделяется на три группы (Kuroda et al., 2020):

- 1) плавающий мусор, перемещающийся по поверхности воды под действием ветра и течений;
- 2) прибрежный мусор (иногда называемый пляжным), нередко формирующий валы мощностью до нескольких метров и протяженностью в десятки километров;
- 3) донный мусор.

В образовании техногенных тел участвуют все перечисленные виды. Мощные потоки плавающего мусора переносятся многими современными реками. Значительная часть его затем оседает на дно или скапливается вдоль берегов. Особенно интенсивно этот процесс происходит в водохранилищах, где течение воды замедляется. Современные подводные грунты некоторых водохранилищ уже в значительной части состоят из мусора.

Наибольшее количество плавающего мусора задерживается в верхнем бьефе плотин (Васильев и др., 2018). Так у плотины ГЭС «Три ущелья» (р. Янцзы, Китай) ежегодно скапливается 150-200 тыс. м³ мусора. Причем сороудерживающие устройства, которые существуют на большинстве крупных ГЭС, задерживают лишь часть потока плавающего мусора¹⁰³. В приплотинном участке донные отложения мусора, также, вероятно, достигают максимальной мощности.

В морях и океанах большая часть плавающего мусора рано или поздно прибывает к берегу или оседает на дно. Последнее происходит вследствие различных причин: постепенного

¹⁰³ После их периодической очистки скопившийся плавающий мусор отправляется на утилизацию. Но часть его в результате набухания или частичного разложения успевает осесть на дно.

заполнения водой полостей агентов засорения (например, при разгерметизации плавающих банок, бутылок, бочек и т.п.), их набухания и увеличения веса в результате развития биообрастаний. За время своего дрейфа плавающий мусор может переноситься на огромные расстояния, формируя скопления у берегов, весьма удаленных от точки его поступления в морскую среду. Так, основная масса, формирующая мощные валы мусора на пляжах Гондураса, согласно результатам проведенных исследований, приносится из районов, удаленных от пляжей на расстояние в сотни миль (Cruz et al., 1990).

Плавающий мусор также оседает в центральных частях акваторий морей и океанов. Этот процесс, наряду с непосредственным засорением с судов, является причиной появления в составе глубоководных осадков многочисленных техногенных структурных элементов, включений и блоков. В результате эти глубоководные отложения также постепенно преобразуются в природно-техногенные геологические тела. Следует также обратить внимание еще на один аспект данного процесса. Дно в глубинах морей и океанов покрыто преимущественно илами. Биомасса, обитающих в них организмов (инфауны), обычно не превышает нескольких десятков г/м². Большинство из этих организмов не обладает твердым скелетом, который после их отмирания может сохраняться в составе донных отложений. При засорении дна твердыми предметами ситуация существенно меняется. Их общая поверхность представляют собой обширное пространство, заселяемое организмами-обрастателями (называемыми также эпибионтами или эпифауной) (Резниченко и др., 1976; Резниченко, 1978). Биомасса глубоководного бентоса при этом может многократно увеличиться. Тела многих видов эпибионтов, поселяющихся на поверхности донного мусора, защищены твердой (в большинстве случаев известковой оболочкой). Поэтому, после отмирания представителей данной

группы водной биоты, в составе глубоководных илов могут появиться новые компоненты – раковины моллюсков, фрагменты колоний корковых мшанок, баянусов и т.п.

Но особенно интенсивно накопление донного мусора происходит в прибрежных акваториях. Так, в районах, прилегающих к черноморским курортным городам и портам России, у берега в летний период формируются подводные «хребты» из затопленного мусора (Кухарев, Гришин, 2009). В районе Сочи протяженность подобных скоплений достигает 20-25 км при средней ширине в 800 м. В период зимних штормов значительная часть массы накопленного мусора прибывает к берегу. В коралловых рифах Северо-Западных Гавайских островов ежегодно накапливается более 50 тонн мусора (Dameron et al., 2007). Аналогичные явления были отмечены и многих других прибрежных районах (Debrot et al., 1999; Cunningham et al., 2003; Otley, Ingham, 2003).

На участках побережий, используемых в рекреационных целях, предпринимаются меры по уборке прибываемого мусора, как правило требующие значительных финансовых средств (Abalansa et al., 2020). Так, в Великобритании на эти цели ежегодно затрачивается 18-19 миллионов евро. При этом в большинстве случаев уборке подлежат только достаточно крупные предметы, выброшенные прибоем на берег. Мусор, размером менее 1-2 см, как правило, этими мероприятиям не затрагивается. В большинстве случаев не осуществляется и сбор мусора, осевшего в прибрежной зоне на глубине более нескольких метров. Вместе с тем его количество также весьма велико. Уже в настоящее время по своему составу и структуре донные отложения близи рекреационных морских зон и многих портовых акваторий приобрели сходство с культурным слоем городов.

Таким образом, уборка прибрежного мусора позволяет лишь частично удалить техногенные материалы даже на пляжах.

Например, галька и гравий, образовавшиеся из осколков стекла в настоящее время обычны в составе грунта практически любой прибрежно-морской рекреационной зоны или берегов вблизи человеческих поселений.

В качестве особой категории донного мусора следует рассматривать затонувшие суда. Согласно статистике ООН на дне океанов и морей их находится более 3 миллионов (Вальдман и др., 2019). По материалам Каталога бедствий на море, только за период с 1824 по 1962 год затонуло 12 542 судна и военных корабля (Бороздина, 2011). Остатки некоторых из них, в т.ч. изготовленные из дерева и захороненные в толще подводных грунтов, существуют несколько тысячелетий. Таким образом, затонувшие плавсредства превращаются в техногенные блоки в составе осадочных образований. Вблизи портовых акваторий выведенные из эксплуатации суда в течение длительного периода полностью или частично затопливались на мелководьях и сформировали «морские кладбища» (Вальдман и др., 2019). Проблема их ликвидации достаточно часто обсуждается в печати, разработана законодательно-нормативная база для организации этой деятельности, в т.ч. на международном уровне (Литвин, 2018; Коровин, 2020). Но на практике в большинстве случаев утилизация затопленных судов – это вопрос будущего. Возможно, что на определенном этапе развития нашей цивилизации они будут использованы как разновидность техногенных месторождений металла. В существующей же ситуации они представляют собой достаточно распространенную разновидность донного мусора, а их скопления могут рассматриваться как разновидность подводных техногенных геологических тел и образованных ими формаций.

В современном мире существует общая тенденция, касающаяся практически всех категорий агентов засорения – поток их поступления в водные объекты, несмотря на все предпринимаемые меры, неуклонно возрастает. Это обуславливает увеличение массы

мусора в составе подводных грунтов. Часть агентов засорения в том или ином виде, вероятно, сохранится и в ходе диагенеза современных осадков. Таким образом, накопление мусора на дне континентальных водных объектов, морей и океанов приведет к образованию на занимаемых ими участков в верхних слоях литосферы природно-техногенных геологических тел. В процессе диагенеза из них возникнут имеющие достаточно широкое распространение техногенные горные породы.

7.8. ПОДВОДНЫЕ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ И КОНСТРУКЦИЙ, СОДЕРЖАЩИХ РАДИОАКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Дампинг радиоактивных отходов интенсивно осуществлялся рядом стран на протяжении нескольких десятков лет в середине XX века. Началом этой деятельности можно считать сброс в море радиоактивных материалов, осуществленный США еще в 1946 г. в 80 км от побережья Калифорнии (Саркисов и др., 2007). С 1949 г. их дампинг стал производиться Великобританией, а с 1955 г. – Японией (Саркисов и др., 2015). В СССР с 1964 г. подводные захоронения твердых радиоактивных отходов начали создаваться в северных и дальневосточных морях¹⁰⁴ (Савицкий, 2013). В 1970-1980-х гг. их ежегодный объем достигал 6-7 тыс. м³. Только в Карском море с этой целью использовались не менее 8 участков акватории. Главным из них считался полигон дампинга твердых радиоактивных отходов в Новоземельской впадине (глубина 380 м), а остальные располагались в заливах восточного побережья Новой Земли, имевших глубину несколько десятков метров.

¹⁰⁴ Но еще с 1960 г. практиковался регулярный сброс жидких радиоактивных отходов, который мог приводить к образованию подводных радиационно-опасных природно-техногенных тел в результате накопления радионуклидов в естественных морских грунтах.

На начальных этапах развития сферы производства ядерных материалов захоронение образующихся радиоактивных отходов осуществлялось в простейшей форме – сброса в море различных предметов, от которых их владельцы стремились избавиться. Например, на дно опускались крупногабаритные конструкции, содержащие радиоактивные вещества, в т.ч. атомные реакторы с невыгруженным ядерным топливом просто сбрасывали в море. Радиоактивные материалы также размещали в специальных судах (баржах, лихтерах), которые затем затопливались. Так, в заливе Цивольки (Карское море) в сентябре 1964 г. был затоплен лихтер «Н. Бауман» и 4750 контейнеров (Савицкий, 2013). В этой же акватории в октябре 1967 г. были опущены на морское дно 125 тепловыделяющих сборок вместе с тремя аварийными реакторами и центральный отсек с экранной сборкой ледокола «Ленин».

Значительная часть отходов захоранивалась в отдельных контейнерах различных конструкций. Их количество было весьма велико, а сброс в море в середине XX века нередко производился без осуществления необходимых мер по их надежной изоляции.

В настоящее время на дне Карского и Баренцева морей находится три затопленные атомные подводные лодки, пять реакторных отсеков с судовыми ядерными энергетическими установками (ЯЭУ), 19 затопленных судов с радиоактивными материалами, 735 радиоактивных конструкций и блоков, затопленных без герметичной упаковки, и более 17 тыс. контейнеров с твердыми радиоактивными отходами (Сивинцев и др., 2005). Общий объем захороненных в этом регионе ядерных отходов составляет 31033 м³ (Саркисов и др., 2015).

Подобная практика была принята и другими странами. Так, в 1959 г. США затопили в Атлантическом океане корпус ядерного реактора атомной подводной лодки «Seawolf» (Саркисов и др., 2007). В 1949-1967 гг. только в Атлантике этим государством на 11 участках было захоронено 34282 контейнеров (масса содержащихся в них

радиоактивных отходов неизвестна) (Грачев, Баева, 2004). Францией в 1967 и 1969 гг. в Атлантическом океане на глубинах 4,0-5,3 тыс. м было затоплено 46396 контейнеров с радиоактивными отходами (общая масса 14299 тонн). Великобритания в период с 1949 г. по 1982 г. осуществила 34 подводных захоронений ядерных отходов в 15 точках акватории Северной Атлантики, Ла-Манша, Бискайского залива и в районе Канарских островов. Масса захороненных контейнеров (их число официально не указывалось) составила 74052 тонны. Германией в 1967 г. в Северной Атлантике на глубинах более 2,5 тыс. м было захоронено 480 контейнеров с радиоактивными материалами, общая масса которых составляла 185 тонн. Согласно обобщенным данным в период 1946-1982 гг. захоронение радиоактивных отходов осуществлялось 14 странами в 47 районах Атлантического и Тихого океанов.

По мнению специалистов утечки радионуклидов из различных объектов, заполненных радиоактивными отходами, в т.ч. из контейнеров, где они залиты бетоном или битумом, будет происходить еще в течение многих десятков лет, а период выхода радионуклидов в экологически опасных количествах из затопленных атомных реакторов достигает нескольких тысячелетий (Саркисов и др., 2015). Причем в начальный период развития ядерных технологий некоторые контейнеры представляли собой емкости с радиоактивными жидкостями, не подвергавшиеся операциям по затверждению (битумизации, цементации). Подобный способ захоронения ядерных отходов создавал еще более высокий риск их утечек, приводящий к радиоактивному заражению воды и подводных грунтов.

Закономерным результатом размещения на морском дне такого большого количества ядерных отходов является образование подводных радиационно-опасных техногенных тел и структур. Если их сброс осуществлялся рассредоточено на значительной акватории, то можно предположить, что на морском дне этих участков

возникли гетерогенные природно-техногенные тела (рис 7.13). По своей структуре это мягкие естественные грунты (илы, которые преобладают на морских глубинах), содержащие многочисленные техногенные структурные элементы, включения и блоки – от контейнеров до судов, наполненных радиоактивными отходами, а также различные конструкции.

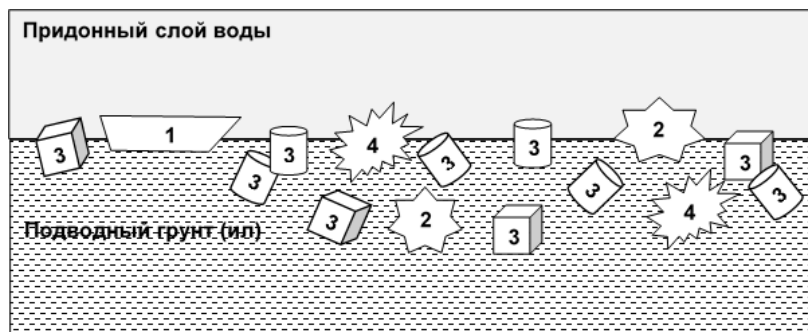


Рисунок 7.13. Гипотетическая схема природно-техногенного подводного тела, сформировавшегося на участке дампинга радиоактивных материалов, осуществлявшегося в различных формах: 1 – затопленный лихтер; 2 – конструкции радиационно-опасных объектов; 3 – контейнеры различного типа; 4 – разгерметизировавшийся объект с радиоактивными отходами

Высказывается мнение, что некоторые из этих участков размещения радиоактивных отходов могли попасть в зону подводного оползнеобразования и оказаться погребенными под значительным слоем донных отложений (Ильин, 2008). Подобные явления достаточно характерны для области материкового склона, где осуществлялись многие подводные захоронения. Более того, предлагается искусственно провоцировать образование оползней на этих участках морского дна подводными взрывами. Предполагается, что таким образом можно обеспечить радиационную безопасность морских захоронений радиоактивных отходов. Не обсуждая эффективность реализации таких проектов, можно сделать

заключение, что в случае успеха они приведут к образованию природно-техногенных тел, залегающих в толще океанической земной коры.

7.9. БИОТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА И СТРУКТУРЫ, ФОРМИРУЮЩИЕСЯ ИЗ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО РЫБОРАЗВЕДЕНИЯ И АКВАКУЛЬТУРЫ

Весьма распространенное садковое рыборазведение и многие технологии аквакультуры связаны с размещением значительного количества живых организмов в самом верхнем хорошо прогреваемом и аэрируемом слое водной толщи. В нем сосредоточена основная часть органической взвеси (планктона и частиц органического детрита), являющей кормовой базой для моллюсков-фильтраторов (устриц, мидий, гребешков и др.). Высокий уровень инсоляции создает благоприятные условия для роста хозяйственно ценных видов водорослей. Помимо прочего, размещение объектов аквакультуры в толще воды в значительной степени изолирует выращиваемые организмы от их естественных врагов (хищников, паразитов, возбудителей заболеваний). Одновременно это значительно облегчает обслуживание водных хозяйств.

Вместе с тем, культивирование значительной массы организмов в толще воды неизбежно вызывает мощный поток оседающих на дно различного рода частиц, формирующих специфические осадки. Следует отметить, что площадь этих осадков может многократно превышать размеры объектов, являющихся их источником. Так, при разведении рыбы в садках, площадью несколько десятков квадратных метров, отложение образовавшихся седиментов может происходить на расстоянии до 1 км (Wu et al., 1994).

Постоянно углубляющийся глобальный продовольственный кризис обуславливает необходимость интенсивного развития

садкового рыбобразведения и аквакультуры. Это один из немногих реальных путей удовлетворить потребности растущего народонаселения планеты в пище, особенно в продуктах с высоким содержанием белков. По этой причине суммарный размер акватории, занимаемый объектами аквакультуры, и их производительность неуклонно возрастают. Если в 1970 г. мировой объем продукции хозяйств аквакультуры составлял 2,6 млн тонн, то к 2012 г. он достиг 66,6 млн тонн (Choi et al. 2018). К 2030 г. данный показатель, согласно официальному прогнозу ФАО¹⁰⁵, достигнет 110 млн тонн (ФАО, 2020).

Отложения, формирующиеся под водными хозяйствами, являются разновидностью седиментационных техногенных тел. Они образуются не только из продуктов жизнедеятельности и тел погибших культивируемых организмов, но и из остатков неиспользованных кормов, оседающих на дно, а также технологических отходов аквакультуры¹⁰⁶. Таким образом, биогенными телами они в полной мере не являются. Согласно классификации, представленной в разделе 1.4, по своему источнику происхождения – это биотехногенные тела. Их характерной чертой является высокое содержание нестойких органических веществ и биогенных элементов. Так, в некоторых морских рыболовческих хозяйствах 59-66% фосфора, содержащегося в корме, накапливалась в отложениях под садками (Handy, Roxton, 1993). Масса подобных биотехногенных отложений может быть весьма значительна. Например подсчитано, что при выращивании 1000 т черноморской

¹⁰⁵ Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций – Food and agriculture organization of the United Nations (FAO).

¹⁰⁶ Например, образующихся при очистке рыболовных садков и приспособлений для выращивания других водных организмов от биообрастаний.

мидии под морской плантацией может образоваться 200 т донных отложений (Золотницкий, Семик, 1998).

Интенсивное микробиологическое разложение осадков, формирующихся под объектами садкового рыбозаводства и аквакультуры, вызывает уменьшение их массы. Таким образом, в период эксплуатации водных хозяйств мощность формирующихся под ними отложений отражает баланс процессов седиментации и разложения (а в ряде случаев и размыва) осадков. При прекращении деятельности по выращиванию водных организмов образовавшиеся под ними биотехногенные тела, как правило, относятся к категории деградирующих. Но определенная и нередко весьма значительная часть массы этих осадков может в процессе диагенеза образовать одну из разновидностей техногенных осадочных пород.

Разложение биотехногенных осадков практически всегда сопровождается ухудшением кислородного режима в придонных слоях, выделением в среду токсичных веществ (сероводорода, аммиака и др.), а также соединений биогенных элементов (азота и фосфора), вызывающих эвтрофирование вод (красные приливы). Эти явления способны ухудшить экологическое состояние акватории и, в ряде случаев, затрудняют дальнейшее осуществление самой деятельности по культивированию организмов, лимитируют ее масштабы (Eng et al., 1989; Iwama, 1991; Wu, 1995; Read et al., 2001; Schneider et al., 2005; Золотницкий, 2011; Chang et al., 2014; Choi et al. 2018). На дне под объектами аквакультуры иногда даже возникают локальные сероводородные зоны, что сопровождается массовой гибелью организмов, обитающих на этих участках (Кочиков, 1979; Tsutsumi, 1995; Yokoyama, 2003; Иванов, 2006; Phillips et al. 2009).

Эти явления, сопутствующие развитию аквакультуры, вызывают озабоченность даже на международном уровне (Садковая аквакультура ..., 2010). Специальными структурами в составе ООН и ЕС разработан ряд директив и рекомендаций. В связи с этим даже ожидается, что в ближайшее время произойдет некоторое

замедление темпов развития этой отрасли по причине усиления контроля воздействия ее объектов на окружающую среду (ФАО ..., 2020). Однако в ситуации, когда большая часть населения Земли ощущает нехватку пищи, и эта тенденция только усиливается, подобное предположение вызывает обоснованные сомнения. При этом следует учитывать, что основным производителем продукции по прогнозам ФАО останутся азиатские страны, которые к 2030 г. будут обеспечивать 89% прироста продукции аквакультуры. В условиях острого дефицита пищевых продуктов обеспечить в данном регионе эффективный контроль за соблюдением международных природоохранных директив, несомненно, будет затруднительно. Хотя в Китае, являющимся лидером по объему производства продукции аквакультуры, данному вопросу в последние годы уделяется значительное внимание (Чуньянь, Пилипчук, 2021). Но, несмотря на попытки ужесточения экологических требований к промышленной аквакультуре, площади образования подводных биотехногенных осадков в ближайшем будущем, по-видимому, многократно увеличатся, возрастет и их мощность. Это может оказать значимое влияние и на общие условия литогенеза осадочных отложений, также как в предшествующие геологические эпохи возникновение в придонных зонах морей устойчивого сероводородного заражения сопровождалось образованием характерных для подобных условий минералов и горных пород, например, пирита и черных сланцев (Мурашко, 2012). Дальнейшее стремительное развитие аквакультуры может стать триггером аналогичных процессов.

ГЛАВА VIII. ТЕХНОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

8.1. ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ И ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ

В контексте проблем второй геологии в качестве *техногенных месторождений полезных ископаемых* можно рассматривать любые образования в земной коре, возникшие в результате человеческой деятельности или под ее косвенном влиянием, и содержащие вещества, добыча которых может принести экономическую выгоду. Нередко их запасы рассматриваются как разновидность так называемых *вторичных ресурсов*, а в процессе использования обозначаются как *вторичное сырье*¹⁰⁷. В соответствии с этим подобные техногенные месторождения называют *техногенными накоплениями вторичных ресурсов*.

Среди вторичных ресурсов выделяют *вторичные материальные ресурсы*¹⁰⁸, используемые для изготовления изделий, *вторичные топливно-энергетические ресурсы*, утилизируемые с целью получения энергии. В настоящее время при анализе целесообразности освоения техногенных месторождений основное внимание концентрируется на материальных ресурсах. Вместе с тем, некоторые техногенные тела содержат и запасы топливно-энергетических ресурсов.

¹⁰⁷ Следует отметить, что понятия «вторичные ресурсы» и «вторичное сырье» охватывают значительно более широкий спектр предметов. Более того, эти понятия используются для обозначения отходов, непосредственно поступающих с промышленных объектов, где они возникают, на предприятия, которые используют их в качестве сырья (ресурсов производства). В подобных случаях образования техногенных тел в литосфере не происходит.

¹⁰⁸ В научной литературе также используются близкие по значению термины «вторичные минеральные ресурсы» (Архипов, Решетняк, 2017) и «техногенные минеральные ресурсы» (Рыльникова и др., 2012; Немчинова и др., 2016).

Запасы техногенных месторождений весьма велики. По ориентировочным расчетам к настоящему времени на территории Российской Федерации в районах месторождений, разрабатывавшихся в 40-50-е годы XX века накоплено более 50 млрд т отходов, извлечение из которых остаточных количеств полезных ископаемых может быть экономически целесообразно (Рыжова, Носова, 2015). В ситуации, когда природные месторождения минерального сырья постепенно истощаются, крупномасштабное освоение его запасов, накопленных в техногенных месторождениях, несомненно, начнется уже в ближайшем будущем. Кроме того, возможно, что когда иссякнут природные запасы углеводородов, актуальным станет и использование топливно-энергетических ресурсов техногенных тел. В настоящее время примером развития этого направления могут служить разрабатываемые в различных странах проекты использования свалочного газа. Экономическая эффективность и экологическая безопасность освоения ресурсов техногенных тел во многом зависит от своевременного создания фундаментальных научных основ, что невозможно без специальных исследований в области второй геологии.

Ряд исследователей рассматривает техногенные месторождения как часть ресурсов земных недр или георесурсов (Архипов, Решетняк, 2017). К ним, согласно классификации, разработанной академиком М.И. Агошковым (1984), относятся природные и техногенные месторождения, а также глубинные источники пресных, минеральных и термальных вод; внутренне-глубинное тепло недр Земли; природные и созданные человеком (техногенные) полости в земных недрах. Подобный взгляд на проблему существенно расширяет спектр образований в земной коре и на ее поверхности, которые могут рассматриваться как техногенные георесурсы и могут быть твердыми, жидкими, газообразными и пространственными (Рыльникова и др., 2012). Твердые техногенные ресурсы – это отвалы вскрышных пород горнодобывающих и горно-

обогащительных предприятий. В качестве жидких техногенных ресурсов рассматриваются минерализованные шахтные и карьерные воды. К газообразным относят шахтные газы (сероводород, водород и др.), а категория пространственных техногенных георесурсов представляет собой совокупность участков земной коры, из которых были изъяты слагающие ее материалы, т.е. совокупность подземных и открытых горных выработок, а также техногенные ландшафты, рельеф которых сформировался в результате человеческой деятельности. К георесурсам эти объекты относятся по причине того, что они могут использоваться как место (пространство) для осуществления геотехнических операций или в иных производственных целях. Подобный расширенный комплексный взгляд представляет несомненный научный интерес и создает научную основу для новых перспективных направлений освоения ресурсов литосферы.

Вместе с тем разработка техногенных месторождений – это один из видов хозяйственной деятельности, которая может развиваться только при наличии соответствующей нормативно-законодательной основы (Подтуркин и др., 2009; Ежов, 2016). На важность развития данного направления указывается в основополагающем документе «Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года» (утверждена распоряжением Правительства РФ от 22.12.2018 г. №2914-р). В качестве одной из задач, решение которой подразумевает реализация Стратегии (раздел V), является: «создание условий для освоения техногенных месторождений, извлечения ценных компонентов из вскрышных, вмещающих пород, а также попутных промышленных вод». В другом официальном документе «Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года» (Утверждена распоряжением Правительства РФ от 25.01.2018 г. №84-р) указывается (раздел 2): «Важнейшей проблемой

развития металлургии Урала являются техногенные образования. Железосодержащие отходы черной металлургии при соответствующей их переработке являются дополнительным местным источником ресурсов». Но правовая база, необходимая для организации разработки техногенных месторождений на практике в настоящее время только начинает создаваться. Так, в ряде стандартов и подзаконных актов, действующих в Российской Федерации, содержатся определения базовых понятий, необходимых для практической работы в данной сфере (табл. 8.1). Помимо определения термина **техногенные месторождения вторичных ресурсов** в нормативных документах содержится трактовка таких понятий как **техногенные накопления вторичных ресурсов** и **техногенные образования сырья**. Техногенные накопления можно рассматривать как разновидность пополняемых техногенных геологических тел. В отличие от этого статус техногенных образований сырья неоднозначен. В том случае, когда их основная масса существует достаточно длительный период (более 10 лет) на необустроенных участках рельефа, то, согласно определению, данному в разделе 1.1, их также можно рассматривать как техногенные геологические тела. Но если эти образования сырья расположены на специально оборудованных участках и утилизируются со скоростью, сравнимой с их накоплением, то это технологические площадки временного хранения отходов.

Многие исследователи включают в категорию техногенных месторождений также **забалансовые запасы полезных ископаемых**, т.е. часть полезных ископаемых, не извлеченных из недр в период первичного освоения месторождения. Как правило, вмещающие их участки земной коры подверглись механической и/или физико-химической трансформации в процессе добычи балансовых запасов полезных ископаемых или в последующий период (например, в результате затопления горных выработок). Подобные скопления

забалансовых запасов представляют собой техногенные геологические тела или их формации. Следует отметить, что наличие подобных образований отражено в действующих нормативных документах, в которых также указывается и возможность их освоения в будущем. Таким образом, официальная трактовка забалансовых запасов достаточно близка к определению понятия техногенные месторождения в действующих стандартах.

Таблица 8.1. Термины, используемые для обозначения запасов вторичных ресурсов в земной коре и на ее поверхности

Термин	Определение	Источник
Техногенные месторождения вторичных ресурсов	Накопленные в результате хозяйственной деятельности залежи вторичных ресурсов, паспортизованные, зарегистрированные и содержащиеся в установленном порядке в качестве разведанных и утвержденных запасов вторичного сырья	ГОСТ Р 54098-2010 «Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения», пункт 3.2.6
Техногенные накопления вторичных ресурсов	Специально обустроенные или необустроенные, в том числе на открытом рельефе местности, накопления отходов, предусматривающие их хозяйственное использование в ближайшем или отдаленном будущем в качестве вторичных материальных ресурсов	ГОСТ Р 54098-2010 «Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения», пункт 3.2.7

Продолжение таблицы 8.1.

Термин	Определение	Источник
Техногенные образования сырья	<p>Специально обустроенные или необустроенные, в том числе на открытом рельефе местности, накопления вторичных ресурсов, пригодных для использования в качестве вторичного сырья с применением специальных технологий по сохранению потребительских свойств</p>	<p>ГОСТ Р 54098-2010 «Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения», пункт 3.2.12</p>
Забалансовые запасы	<p>Запасы полезного ископаемого, использование которых при достигнутом техническом уровне экономически нецелесообразно вследствие их малого количества, малой мощности залежей (пласта), низкого содержания ценных компонентов, особой сложности условий эксплуатации или необходимости применения очень сложных процессов переработки, но которые в дальнейшем могут быть объектом промышленного освоения</p>	<p>Письмо Госналогслужбы РФ от 29.08.1994 N НП-6-02/318 "О рекомендациях о порядке проведения документальных проверок юридических лиц по соблюдению налогового законодательства, правильности исчисления, полноты и своевременности внесения в бюджет платы за пользование недрами"</p>

Исходя из изложенного, можно дать следующее расширенное и, вместе с тем, обоснованное в правовом отношении определение понятия *техногенное месторождение – это техногенное и природно-техногенное геологическое тело, содержащее официально зафиксированные запасы полезных ископаемых, добыча которых может принести финансовую выгоду и стать экономически целесообразной с учетом тенденций развития новых технологий в обозримой перспективе.*

Подобная трактовка позволяет рассматривать в качестве техногенных месторождений не только скопления промышленных отходов, но также использование вещества и энергии любых видов техногенных тел. В частности, к ним можно отнести техногенные линзы нефтепродуктов, формирующиеся под промзонами (см. разд. 6.6) и хранилищами нефтепромысловых отходов (см. разд. 3.4). В определенной мере ими являются угольные пласты, подготавливаемые для промышленной газификации (см. разд. 4.4) и даже сланцевые месторождения углеводородов (см. разд. 4.3). В обоих случаях извлечению из недр полезных ископаемых предшествует целенаправленное формирование в земной коре техногенных тел, в которых образуются эти вещества, т.е. превентивное создание их искусственных месторождений. В любом случае освоение техногенных месторождений заключается в извлечении из состава техногенных геологических тел отдельных элементов. Их основная масса после осуществления технологических операций, сопровождающихся изменением ее структуры и состава, как правило, сохраняется. Таким образом, освоение техногенных ресурсов месторождений можно рассматривать как процесс целенаправленной механической или физико-физической трансформации техногенных геологических тел. С этой точки зрения, широкое распространение деятельности по добыче полезных ископаемых из техногенных месторождений

обусловит новый этап техногенеза литосферы, сопровождающийся образованием на многих ее участках **вторичных техногенных геологических тел**. Можно ожидать, что в некоторых случаях их подверженность опасным геодинамическим процессам будет существенно выше, чем у образований, из которых они возникли. По этой причине при разработке нормативно-правовой базы деятельности по освоению техногенных месторождений необходим учет всех этапов их жизненного цикла, включая постэксплуатационный период.

Техногенные месторождения весьма многообразны и возникают в процессе различных видов деятельности. К настоящему времени предложено **несколько их классификаций**, основанных на составе, структуре, генезисе и иных критериях (Трубецкой и др., 1987; 1989; Усманова, Рихванов, 2013; Макаров и др., 2018). Так, А.Б. Макаров (2000) предложил классифицировать техногенные месторождения **по сферам деятельности**, в которых происходит их образование:

1. Техногенные месторождения, образующиеся при добыче полезных ископаемых. К ним относятся отвалы горных предприятий и забалансовые запасы.

2. Техногенные месторождения, возникающие как отходы горно-обогатительных предприятий, т.е. хвосто- и шламохранилища.

3. Техногенные месторождения, образующиеся при переработке сырья, к которым автор данной классификации относит отвалы предприятий черной и цветной металлургии, состоящие из шлаков и шламов. Данная категория может быть расширена включением в нее скоплений отходов и других производств, в которых содержатся ценные элементы. Например, это золошлаковые отходы объектов теплоэнергетики, которые многими исследователями также рассматриваются как разновидность техногенных месторождений (Усманова, Рихванов, 2013; Архипов, Решетняк, 2017). К ним также иногда относят свалки (полигоны) твердых бытовых отходов, из тел

которых осуществляется добыча различных видов вторичного сырья (Потравный и др. 2017).

Согласно другой классификации, техногенные месторождения подразделяют на сухие и мокрые на основе технологии, применявшейся при их создании, (Шапарь и др., 2006). Первые из них возникают при отсыпке побочных продуктов производства. Мокрые техногенные месторождения создаются путем намыва этих материалов гидравлическим способом (в форме пульпы). Целесообразность выделения этих категорий обосновывается тем, что способ формирования скоплений отходов во многом определяет их структуру и свойства, а, следовательно, и технологию последующего освоения.

Некоторые специалисты предлагают разделить техногенные месторождения на две основные категории, исходя из отсутствия или наличия превентивных планов освоения их ресурсов, еще в момент формирования (Трубецкой и др., 2012). К первой из этих категории относятся искусственно созданные скопления, содержащие какие-то ценные элементы или минералы, извлечение которых в настоящее время стало экономически выгодным. Но в период их формирования подобные действия не планировались и эти техногенные тела, вне зависимости от формы (отвалы, хвосты, рассыпные техногенные месторождения и др.), возникали в результате накопления запасов вторичного сырья (вещественных техногенных георесурсов). Ко второй категории эти авторы относят скопления отходов (главным образом, горнодобывающих предприятий), целесообразность использования которых в дальнейшем как техногенных месторождений имеет веские основания уже на стадии их образования. По этой причине при формировании подобных техногенных тел необходимо применять специальные технологии, позволяющие обеспечить оптимальные условия для освоения остающихся в них запасов сырья в будущем.

К настоящему времени уже разработано весьма значительное число проектов освоения техногенных месторождений различных видов. Некоторые из них находятся в стадии реализации. Аналитический обзор всех этих материалов в монографии, в которой данный вопрос, представляет лишь только одну из рассматриваемых проблем, представляется нецелесообразным. По этой причине в последующих разделах данной главы в качестве примеров рассматриваются лишь две категории техногенных месторождений, которые в совокупности могут дать представление о широте спектра деятельности по их освоению.

8.2. ТЕХНОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ВОЗНИКШИЕ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ, ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

На этих объектах концентрируется внимание большинства специалистов, занимающихся вопросами освоения запасов минерального сырья техногенных месторождений. Для этого существует несколько причин. Во-первых, техногенные тела подобного рода (отвалы, хвостохранилища, шлакохранилища и др.), как правило, компактны и обладают большой массой, что позволяет извлечь из них большое количество ценного элемента, даже в том случае, когда его остаточное процентное содержание невелико. Во-вторых, запасы многих из этих элементов в природных месторождениях близки к истощению. В этой ситуации их извлечение из скоплений отходов представляет собой единственную возможность удовлетворить спрос в различных отраслях производства, который нередко возрастает. В-третьих, разработка отвалов, хвостохранилищ и шлакохранилищ в большинстве случаев может проводиться менее затратным открытым способом, не требующим дорогостоящих работ по вскрытию пластов, содержащих нужные элементы. В районах размещения подобных

техногенных месторождений обычно уже ранее создавалась транспортная инфраструктура, а во многих случаях существуют и производственные мощности, которые могут быть модернизированы для первичной переработки извлекаемого сырья.

Скопления отходов предприятий горной промышленности могут иметь различное происхождение. В их составе можно выделить две основные категории. Первая – это образование сырья из отходов первичной переработки (шламов, пустой породы и др.). Содержание ценных элементов в них может быть весьма значительным. Так, в процессах обогащения руды происходит потеря более трети олова и приблизительно четверти железа, вольфрама, молибдена, драгоценных металлов (Немчинова и др., 2016). Ко второй категории можно отнести скопления (склады) извлеченных из недр забалансовых руд, с низким содержанием ценных элементов, а также попутных и разубоженных руд.

Массы отходов, сформировавшиеся на предприятиях черной и цветной металлургии, нередко составляют сотни миллионов тонн. Количество накопленного в них за многие десятилетия ценного минерального сырья также весьма велико. Так, на предприятиях цветной металлургии технологические потери, большая часть которых накапливается в шлакохранилищах, составляют: при производстве меди 15-25%, цинка 26-47%, никеля 10-25%, свинца 25-39%, молибдена 19-23%, олова 35-58%, вольфрама 35-50% (Мелентьев, 2015). Согласно официальным данным, на начало 2000-х годов общее количество ценных элементов в скоплениях отходов предприятий цветной металлургии в России оценивалось следующим образом: цинк – 9000 тыс. т, никель – 2480 тыс. т, свинец – 980 тыс. т, молибден – 114 тыс. т, олово – 540 тыс. т, вольфрам – 129 тыс. т.

Как уже указывалось в разделе 5.5, скопления золошлаковых отходов, накапливающихся вблизи объектов теплоэнергетики, по мнению многих специалистов, могут целиком использоваться в

качестве сырья. Но они рассматриваются как техногенные месторождения, если интерес в них представляют лишь отдельные их элементы, например, редкие металлы. На последующем этапе оставшаяся масса отработанных золошлаковых отходов может быть использована в других целях.

Спектр ценных элементов, которые предлагается добывать из техногенных месторождений, возникших из отходов предприятий горной промышленности, металлургии и теплоэнергетики весьма широк. Но наибольший интерес специалисты проявляют к золоту (Власов, 1960; Ковлеков, 2002; Белов, 2008), металлам платиновой группы (платине, палладию, родию, иридию, осмию, рутению) (Петров и др., 2013; Гурская и др., 2016) и редким элементам, естественные запасы которых постепенно истощаются (Ханчук и др., 2012; Мелентьев, 2015).

В качестве потенциальных техногенных месторождений рассматриваются не только породные отвалы, но искусственно сформировавшиеся золотоносные россыпи. Их возникновение обусловлено технологическими потерями в прошедшее время на этапе обработки-промывки естественного россыпного месторождения (Белов, 2008; Ковлеков, 2000; Мирзеханов, 2014). Эти потери были достаточно велики и составляли от 10-15 до 50%. По этой причине в настоящее время в Магаданской области до 70% эксплуатируемых месторождений золота являются техногенными (Мелентьев, 2015).

Как показывает анализ многочисленных проектов освоения техногенных месторождений, в качестве объекта могут рассматриваться не только остаточные количества ранее добывавшихся видов минерального сырья, но и элементы, в предшествующий период не извлекавшиеся из перерабатываемой породы, хотя и представляющие собой ценное сырье¹⁰⁹. Но в

¹⁰⁹ Т.е. относящиеся к категории попутных полезных ископаемых.

настоящее время с появлением новых технологий разработка их запасов становится экономически выгодной. Например, первоначально предприятие ОАО «Апатит» (Мурманская область) создавалось для добычи сырья, необходимого для производства фосфатов. Но в настоящее время его хвосты обогащения, основную массу которых составляет нефелин с калиевым полевым шпатом, могут служить источником галлия, рубидия и цезия (Мелентьев, 2015). В его хвостохранилищах, которые формировались с 30-х годов XX века, заключены большие количества и других видов ценного минерального сырья. В недоизвлеченном апатите содержатся редкоземельные элементы (30 кг/т), стронций (10 кг/т) и фтор (30 кг/т), а в неизвлекаемом титаномагнетите – ванадий (1 кг/т), в сфене – ниобий (3 кг/т) и тантал (200 г/т).

В 70-е годы XX века переработка скопившихся за 100 предшествующих лет отвалов шлака оловоплавильных заводов Таиланда, Малайзии, Индонезии и других стран, обеспечило 60% мирового производства тантала (Мелентьев, 2015). В Китае из шлаков предприятий черной металлургии добывают ванадий, а в США, Англии, Японии и ЮАР и ряд других элементов, в т.ч. Ag, Pb, As, Hg, Bi, Cr, Ni.

В ископаемых углях некоторых месторождений присутствуют элементы платиновой группы, сохраняющиеся после их сжигания в золошлаковых отходах, где их относительное содержание возрастает. Так, количество элементы платиновой группы, обнаруженное в углях Павловского месторождения (Приморский край), составляет 0,1 г/т, а в золе – 1 г/т (Середин, 2004). Кроме того, в продуктах сжигания каменных углей могут присутствовать и другие компоненты, представляющие значительную ценность: германий, золото, уран и ряд других элементов (Finkelman, Aruscavage, 1981; Van der Flier-Keller, 1990; Кизильштейн и др., 1995; Нифантов и др., 2011). Уже в ближайшем будущем, по мере разработки и внедрения новых технологий, их извлечение из

золошлаковых отвалов может стать экономически выгодным (Алексейко и др., 2016).

8.3. ДОБЫЧА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВАЛОЧНОГО ГАЗА

Свалочный газ образуется в результате микробиологического и химического разложения органического вещества, входящего в состав захороненных твердых бытовых отходов (ТБО). В монографии их крупномасштабные скопления рассматриваются как поверхностные, подповерхностные или запечатанные техногенные геологические тела.

Содержание биоразлагаемых органических веществ в составе ТБО, как правило, составляет 56-62%, а с учетом древесных отходов доходит 69% (Гурвич, Лифшиц, 2006). Основными компонентами свалочного газа являются метан (CH_4) и двуокись углерода (CO_2) (Themelis, Ulloa, 2007). Кроме того, в значительно меньших количествах могут присутствовать азот (N_2), аммиак (NH_3), сероводород (H_2S), кислород (O_2) и водород (H_2), а также различные летучие органические соединения (Uruse et al., 2008; Njoku et al., 2018). Интенсивное образование газообразных продуктов в свалочных телах в зависимости от условий происходит на протяжении 10-50 лет. Из одной тонны ТБО может образоваться 120-200 м³ свалочного газа.

Эмиссия из них газообразных продуктов может наносить существенный вред окружающей среде, а в ряде случаев создавать угрозу для здоровья и жизни населения (Białowiec, 2011; Балахчина, 2012; Садчиков, 2017). Неконтролируемое выделение свалочного газа создает предпосылки для возникновения пожаров. Кроме того, он токсичен. Поэтому особую опасность создает накопление свалочного газа в подземных частях зданий.

Для предотвращения этих опасных явлений предпринимаются действия по утилизации свалочного газа (Jewaskiewicz, 2010; Omar,

Rohani, 2015). В некоторых случаях представляющий опасность свалочный газ после изъятия уничтожается путем факельного сжигания. Однако уже в течение нескольких десятилетий существует тенденция к переходу на использование его энергетического потенциала, а также извлечения из него веществ, используемых для синтеза органических соединений (Nyns, Gendebien, 1993; Goossens, 1996; Brown, Maunder, 1994; Гурвич, Лифшиц, 2006; Алешина, 2013). Это реализуется в форме различных проектов, предусматривающих:

- прямое сжигание свалочного газа для производства тепловой энергии;
- использование в качестве топлива для газовых турбин и газовых двигателей в целях получения электроэнергии и тепла;
- использование в газовых сетях общего назначения, после повышения содержания метана до 94-95% (обогащения свалочного газа).
- использование для производства синтетических видов топлива и как сырья для химической промышленности (например, метанола).

По теплоте сгорания его объем, равный 1 м^3 , эквивалентен $0,8 \text{ м}^3$ природного газа. Следовательно, он может считаться одним из видов вторичных топливно-энергетических ресурсов, а организация его добычи – освоением техногенных газовых месторождений (Смага и др., 2010; Кузьминов и др., 2011; Боровский и др., 2020).

Добыча свалочного газа в большинстве случаев осуществляется по схеме, представленной на рис. 8.1. В свалочном теле создают сеть вертикальных скважин, расположенных на расстоянии 50-100 м друг от друга. В них размещаются газосборные коллекторы, в которых происходит накопление газа в результате его дренажа из свалочного тела. Эти скважины соединены транспортирующим газопроводом. Выделение газа из свалочного тела в полости газодренажной системы обеспечивается благодаря работе насоса, поддерживающего там более низкое давление, чем в порах и

полостях окружающей массы разлагающихся ТБО. Откачиваемый на поверхность газ в блоке утилизации может использовать непосредственно (например, сжигаться для получения тепла) или подвергаться обработке (очистке, обогащению и иным технологическим операциям), после чего передаваться потребителям.

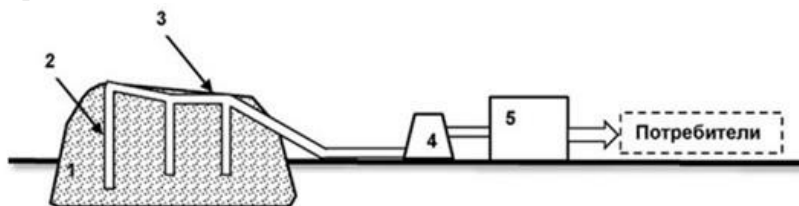


Рисунок 8.1. Обобщенная схема добычи свалочного газа: 1 – свалочное тело; 2 – газодренажные скважины; 3 – транспортирующий трубопровод; 4 – насос; 5 – утилизационный блок.

К 2010 г. в мире уже было реализовано более 1100 проектов по добыче и использованию свалочного газа (Смага и др., 2010). В качестве техногенных газовых месторождений эксплуатировалось свыше 150 полигонов ТБО. Большинство их них находится в США, Германии и Великобритании. Только в США общий объем добываемого свалочного газа достигает 7 млрд м³/год (Алешина, 2013). Часть его сжигается, но основной объем (5 млрд м³/год) используется.

В Российской Федерации существует весьма значительное количество техногенных тел, из которых может быть организована добыча свалочного газа в промышленных масштабах. Только в московском регионе ежегодно образуется порядка 20 млн м³ ТБО, из них 96,5% вывозятся на полигоны для захоронения. Согласно расчетам специалистов (Смага и др., 2010), с 1 га полигона в течение года можно получить около 1 млн м³ свалочного газа, а в целом его производство в масштабах всей страны могло бы ежегодно

составлять 15 млрд м³, т.е. достигать объемов, сравнимых с потреблением природного газа (400-450 млрд м³/год). Уже сейчас ряд проектов по добыче свалочного газа реализован в Московской области, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде и некоторых других регионах. Следует отметить, что масса ТБО, способная трансформироваться в свалочный газ, составляет лишь относительно небольшую часть техногенного геологического тела, из которого осуществляется его добыча. После исчерпания источников значительной эмиссии горючих газообразных продуктов в составе литосферы остается подвергшееся биологической и физико-химической трансформации свалочное тело.

ГЛАВА IX. ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА ЛИТОСФЕРЫ КАК ЭЛЕМЕНТЫ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

9.1. ОБРАЗОВАНИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ ТЕХНОГЕНЕЗА ЛИТОСФЕРЫ

Природно-технической системой (ПТС) может считаться любая совокупность природных, природно-техногенных и техногенных объектов, состояние и функционирование которых взаимосвязаны (Суздалева, 2016)¹¹⁰. Под природными и природно-техногенными

¹¹⁰ Приведенное определение по структуре сходно с официальной трактовкой термина «окружающая среда - совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов» ("Об охране окружающей среды №7-ФЗ). Вместе с тем, существует принципиальное различие. ПТС – это система, т.е. не набор объектов различного рода, а комплекс взаимодействующих элементов. Любая ПТС имеет определенные границы. Термин окружающая среда носит более общий характер – это любая совокупность объектов на каком-то участке, которые могут не формировать единую систему, обособленную от аналогичных других систем.

объектами в данном случае подразумеваются образования, в которых неограниченное время способны существовать живые организмы. Их разнообразие может быть невелико, но они должны присутствовать в этих объектах постоянно¹¹¹.

Возникновение ПТС происходит двумя путями (рис. 9.1). Во-первых, в тех случаях, когда в трансформированной в процессе техногенеза окружающей среде сохраняются условия, пригодные для жизни каких-то биологических видов. Во-вторых, ПТС могут возникать в результате заселения организмами созданных человеком конструкций, сооружений и материалов. Данный процесс обозначается как **биологическая инвазия**, а организмы-вселенцы называются инвайдерами (Суздалева и др., 2015). Осваиваемая ими среда по своим условиям может принципиально отличаться от условий в естественных экосистемах. Например, разновидностью ПТС является сообщество микроорганизмов, развивающихся на внешней поверхности орбитальных космических станций (Суздалева, 2017). Возможно, они могут проникать в глубокие слои земной коры при бурении скважин и существовать в этих условиях.

¹¹¹ В научной литературе употребляется близкий по своему содержанию термин «природно-техническая геосистема» (Соболева, Языков, 2010) и «природно-техническая эколого-геологическая система» (Трофимов, Зилинг, 2002). Под природно-технической геосистемой, в большинстве случаев, понимают подвергшийся техногенной трансформации участок территории, по своим масштабам соответствующий определенному уровню иерархии географических объектов (чаще всего ландшафтам). Природно-техническая эколого-геологическая система – это система, возникающая при взаимодействии геологической среды и размещенного в ней инженерного сооружения. Понятие «природно-техническая система» (ПТС) значительно шире. В качестве ПТС можно рассматривать весь спектр систем, возникших и развивающихся под воздействием процессов техногенеза: от скоплений воды в подвалах зданий, в которых развиваются личинки кровососущих комаров и некоторые иные организмы, до подвергшихся техногенной трансформации акваторий Мирового океана.

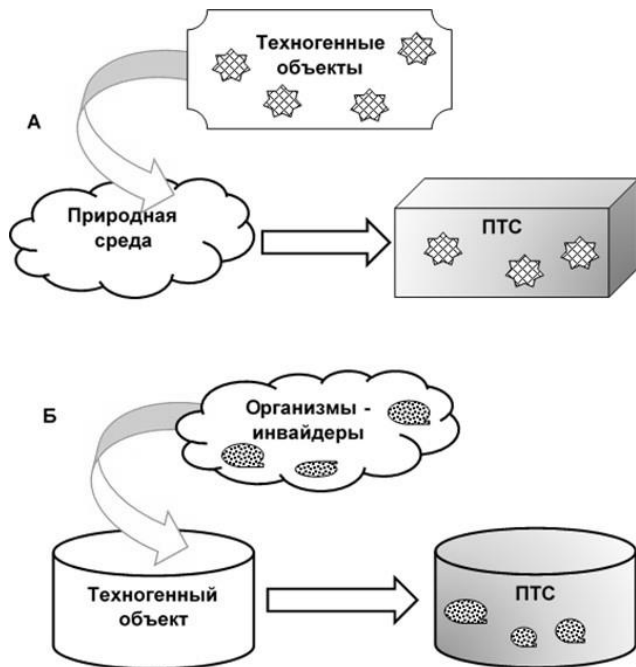


Рисунок 9.1. Пути возникновения ПТС: А – внедрение техногенных объектов в природную среду; Б – заселение (инвазия) живыми организмами техногенных объектов

В определенной степени ПТС можно считать искусственно созданными аналогами экосистем. В обоих случаях это системы взаимодействия живых организмов и окружающей их абиотической среды. ПТС включают весьма широкий спектр систем, отличающихся по своим масштабам и сложности структурно-функциональной организации¹¹². Глобализация процессов

¹¹² Под структурно-функциональной организацией системы (в т.ч. ПТС и экосистем) в монографии подразумевается комплекс материальных тел (структурных элементов данной системы), связанных в единое целое вещественными и энергетическими потоками (функциональными связями).

техногенеза закономерно приводит к образованию **биотехносферы** (Суздалева, Горюнова, 2017), представляющую собой ПТС, которая охватывает всю населенную организмами часть биосферы и даже распространяется за ее пределы вместе с осваиваемым околоземным пространством и недрами планеты.

Несмотря на разнообразие форм и масштабов ПТС, всем им свойственна одна общая черта. ***В отличие от естественных экосистем они не обладают гомеостазом*** – способностью самопроизвольно восстанавливаться при неблагоприятных внешних воздействиях, сохраняя постоянство своей структуры и внутренних условий. Данный принцип можно сформулировать и иначе: экосистема превращается в ПТС, когда ее потенциал самовосстановления (саморегуляции) не способен компенсировать нарушения структурно-функциональной организации, вызываемой внешними воздействиями. Поэтому изменение ПТС во времени (тенденция ее динамики) может происходить тремя основными путями:

1. **Дегградация неуправляемой ПТС**, приводящая к возникновению участка земной коры, с ухудшающимися условиями для жизни высокоорганизованных форм организмов и, нередко, представляющими угрозу для здоровья и жизни населения. Примером может служить водный объект, принимающий стоки с окружающей урбанизированной территории, объем или состав которых не позволяет естественным процессам самоочищения сохранить благоприятное экологическое состояние его вод и подводных грунтов. Неизбежно снижается биоразнообразие его флоры и фауны. Накапливающиеся в подобном водоеме загрязнители и продукты их распада могут попадать в приземный слой атмосферы и просачиваться в подземные воды.

2. **Искусственно поддерживаемая благополучная экологическая ситуация в управляемой ПТС**. В данном случае,

благоприятные условия поддерживаются благодаря целенаправленной человеческой деятельности. Подобная система может существовать только при наличии так называемого **экологического регулятора**, т.е. специального технического объекта, работа которого устраняет негативные внешние воздействия и сохраняет относительное постоянство условий среды. В определенном смысле экологический регулятор – это целенаправленные усилия человека по созданию искусственного гомеостаза в ПТС. Примером может служить аналогичный водоем, в котором работает циркуляционная система очистки вод (Суздалева, Горюнова, 2014). Экологическим регулятором может являться осуществляемый с той же целью комплекс мероприятий (например, периодическая откачка загрязненных вод, изъятие загрязненных осадков и наполнение водоема из городской системы водоснабжения). Границы участка, в пределах которого условия тем или иным способом постоянно регулируются, являются границами управляемой ПТС.

3. Восстановление естественной экосистемы на участке, где в результате техногенных нарушений среды возникла ПТС. Данный вариант развития ситуации, как правило, возможен в том случае, если трансформированная в процессе человеческой деятельности окружающая среда в дальнейшем не подвергается разрушительным техногенным воздействиям. Например, это постепенное зарастание горных отвалов и формирование на них плодородного слоя почвы. Данный процесс поэтапного развития экосистемы на искусственно созданном участке земной коры обозначается как **сукцессия**. Продолжительность ее развития, приводящая к возникновению устойчивой экосистемы, занимает десятки и даже сотни лет. Данный процесс может быть значительно ускорен путем рекультивационных мероприятий. На этапе их проведения также создается управляемая ПТС, основной целью которой является

поддержание благоприятных экологических условий в течение определенного периода времени.

Следует отметить, что экосистема, сформировавшаяся, на подвергшемся участку техногенной трансформации участка земной коры, в большинстве случаев отличается от ранее существовавшей. Причиной этого могут являться необратимые изменения рельефа, почвенного покрова, гидрогеологической структуры и иные остаточные явления. Это неизбежно оказывает влияние и на состав обитающих в ней организмов. Подобные образования нередко обозначаются как **техногенно-трансформированные экосистемы**. Их принципиальное отличие от ПТС заключается в наличии естественного гомеостаза, позволяющего такой системе – в отсутствии критических внешних воздействий¹¹³ – существовать неограниченно долгое время, сохраняя присущую ей структурно-функциональную организацию.

Образование многих видов техногенных геологических тел, особенно поверхностных, неизбежно сопровождается формированием ПТС. Основу для управления ими создают возможности усиления позитивных последствий трансформации экологических функций литосферы, сопутствующих образованию техногенных тел, при одновременном снижении негативных последствий. Эти эффекты ранее уже рассматривались в разделе 2.6 (см. табл. 2.1). Как позитивные, так и негативные экологические последствия образования техногенных тел весьма многообразны. Для удобства их анализа большую их часть можно сгруппировать в две основные категории: процессы, приводящие к изменению геоэкологических условий, и явления, имеющие ощутимую социально-психологическую значимость. Первая из этих категорий обусловлена объективными изменениями структуры окружающей

¹¹³ То есть, когда флуктуации условий не выходят за пределы их многолетней динамики, характерной для данного участка биосферы.

среды, а вторая – восприятием событий человеческим сознанием, которое, как правило, носит субъективный характер и не в полной мере отражает существующие реалии. Вместе с тем, данный фактор, хотя и не является проявлением техногенеза литосферы, во многом определяет направление деятельности по контролю и управлению этим процессом. Именно восприятие человечеством изменений, происходящих в окружающей среде, позволяет рассматривать их как позитивные или негативные. Так, разрушение элементов естественного рельефа для прокладки транспортных коммуникаций на участках, где раньше передвижение осуществлялось по опасным горным тропам, обычно воспринимается большинством населения позитивно. В то же время, это один из видов техногенеза окружающей среды, приводящий к ее необратимой трансформации. Одним из последствий которого может стать нарушение миграционных путей некоторых животных.

Трансформация геоэкологических условий и их восприятие – это два аспекта одного и того же процесса или явления. Вместе с тем, их анализ требует различных методологических подходов. По этой причине данные вопросы в монографии рассматриваются раздельно.

9.2. ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ И ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ТЕЛ

Термин *геоэкологические условия* в научной литературе трактуется весьма широко. Поэтому, прежде чем перейти к изложению материалов раздела, необходимо сделать некоторые уточнения в области терминологии. В самом общем смысле экология – это наука, предметом которой является исследование процессов взаимодействия в системе «биологические объекты – окружающая среда, в которой они обитают» (рис. 9.2).

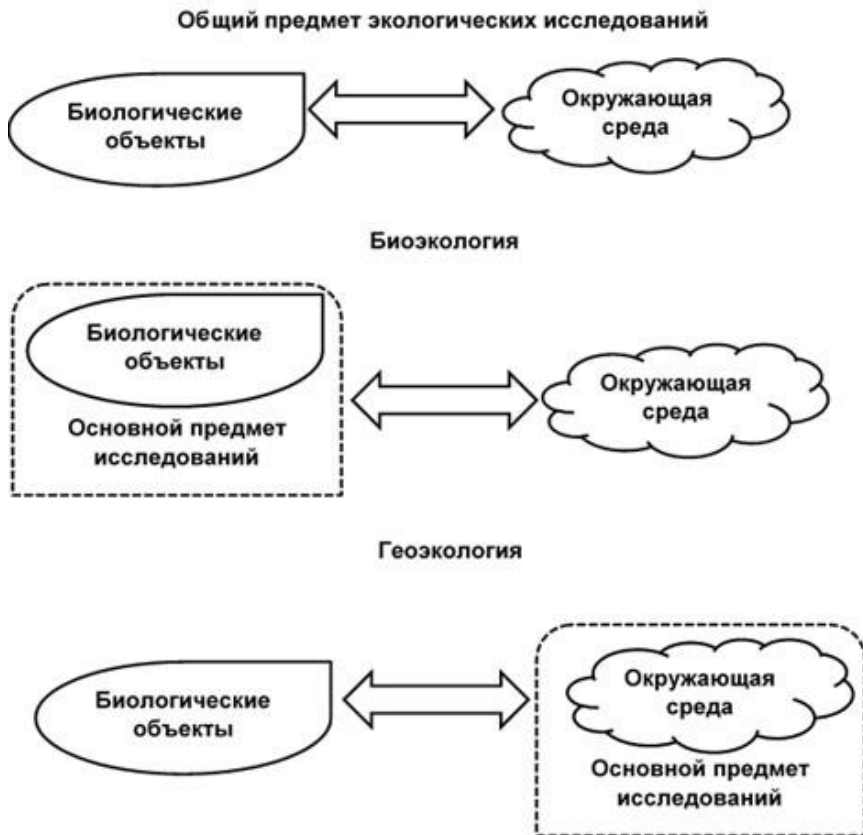


Рисунок 9.2. Основные предметы исследования биоэкологии и геоэкологии

На первоначальном этапе развития этой науки основное внимание специалистов сосредотачивалось на изучении первого элемента данной системы, т.е. иерархии биологических объектов – отдельных организмов, их популяций, биоценозов, биомов. Впоследствии это направление стало обозначаться как **биоэкология**. В противовес ему произошло обособление другого направления, получившего название **геоэкология**, в котором основным предметом является состав и структура среды обитания организмов, изучение

которых также может осуществляться на различных иерархических уровнях – биотоп, ландшафт, геосфера. Таким образом, геоэкологическое значение техногенеза литосферы – это обусловленные им изменения характера среды существования биологических объектов, включая человека. С этой точки зрения, образование техногенных геологических тел может иметь следующие наиболее значимые последствия:

1. **Изменение характера земной поверхности.** Возникновение многих видов техногенных тел сопровождается полным уничтожением ранее существовавших местообитаний организмов. Вместе с тем, образовавшаяся поверхность в подавляющем большинстве случаев остается безжизненной лишь непродолжительное время. Почти все субстраты, возникающие на границе техногенных тел и атмосферы, пригодны для заселения отдельными видами организмов. Они постепенно осваивают даже участки на сплошном асфальтобетонном покрытии и стенах сооружений (Конкина, Дулин, 2016; Мартынюк, 2019). На новых искусственных субстратах, например горных отвалах, со временем может сформироваться плодородный почвенный слой, обозначаемый *эмбриозем*, отличающийся по своим свойствам и структуре от естественных (зональных) почв, характерных для данного региона (Курачев, Андроханов, 2002; Шипилова, Лысенко, 2014). Количество видов организмов-инвайдеров, участвующих в образовании стихийно возникающих ПТС, относительно невелико, но они могут в течение короткого времени распространиться на значительных площадях и достигнуть высокой численности. При этом в естественных экосистемах данные организмы часто относительно малочисленны. Примером являются представители так называемой рудеральной растительности, т.е. совокупности видов растений, образующих плотные заросли на свалках, территориях заброшенных промышленных объектов и других техногенно трансформированных участках. Характер заселяющей ее

фауны во многом определяется составом рудеральной растительности.

2. Ухудшение экотоксикологической ситуации. Некоторые техногенные тела содержат компоненты, способные вызвать отравление организмов. Это могут быть как загрязнители, образовавшиеся в процессе производственной деятельности или трансформации отходов, так и вещества естественного происхождения, поднятые к поверхности из недр и размещенные на земной поверхности в качестве побочного продукта деятельности (например, многие горные отвалы содержат высокие концентрации токсичных химических соединений). В зависимости от фазового состояния и путей проникновения в организмы эти опасные для человека и других организмов компоненты можно условно разделить на:

а) твердые труднорастворимые вещества, которые попадают в организм с поверхности техногенного тела в виде аэрозолей, образующихся в результате дефляции;

б) твердые легкорастворимые и жидкие вещества, проникающие в организм с водой, образующейся при эрозии и суффозии техногенных тел;

в) газообразные и парообразные вещества, попадающие в воздух в результате их эмиссии из техногенных тел¹¹⁴.

3. Трансформация рельефа. Подобные явления также сопутствуют образованию ряда видов техногенных тел. Примером может служить образование отвалов, терриконов и различных насыпей. В результате возникают *техногенные ландшафты*, т.е. участки земной поверхности, условия формирования и структура которых, определяются производственной деятельностью. Их

¹¹⁴Эти вещества могут изначально присутствовать в составе техногенных геологических тел (например, ртуть в захороненных свалках) или возникать в процессе трансформации техногенных тел (например, метан, образующийся при разложении органических веществ).

распространенной разновидностью являются **горнопромышленные ландшафты**. Следует отметить, что не только состав, но и характер рельефа техногенных тел также является важным фактором, определяющим их пригодность как среды обитания для многих организмов.

4. **Интенсификация процессов экзогенной геодинамики**. Как уже неоднократно указывалось в предшествующих разделах монографии, развитие широкого спектра этих явлений весьма характерно для участков выхода на поверхность техногенных геологических тел. Водная эрозия, оползни, обвалы, сели и другие подобные явления не позволяют сформироваться устойчивым биотопам, необходимым для существования многих организмов. Это также является фактором, обуславливающим относительно низкое биоразнообразие ПТС на поверхностных выходах техногенных геологических тел, при отсутствии целенаправленных усилий по их рекультивации.

5. **Изменение гидрографической сети и гидрологического режима водных объектов** при образовании техногенных геологических тел может происходить в силу нескольких причин. Во-первых, это изменение русел водотоков и их подпруживание, а также засыпка водоемов (полная или частичная) в результате образования отвалов и других искусственно создаваемых скоплений вещества. В других случаях в возникающих в результате человеческой деятельности углублениях рельефа формируются скопления вод и заболоченные участки (Batty, 2005; Суздалева и др., 2015; Ефимов, 2016). Во-вторых, изменения гидрографической сети и гидрологического режима акваторий происходят при отложении техногенных наносов, а также при спровоцированном человеческой деятельностью переотложении наносов естественного происхождения. В-третьих, образование техногенных тел в прибрежной зоне моря и крупных континентальных водных

объектов способно изменить характер течений и интенсивность водообмена, спровоцировать размыв берегов или образование застойных зон. Все эти факторы способны вызвать существенное изменения среды обитания, как водных организмов, так и организмов, обитающих на прибрежных участках суши.

6. Изменение уровня подземных вод, происходящее в ходе многих видов техногенеза литосферы, также представляет собой важнейший геоэкологический фактор. Так, для растительности (а, следовательно, и обитающих в ней животных) представляет опасность как понижение уровня грунтовых вод, обуславливающее дефицит свободной почвенной влаги, так и повышение их уровня, вызывающее устойчивое подтопление. Этот фактор имеет решающее значение для сельского хозяйства и также может влиять на качество жизни населения (например, при высыхании колодцев или заболачивании территории при подтоплении).

Нередко различные формы изменения геоэкологических условий среды проявляются одновременно и могут оказывать синергетическое негативное воздействие на организмы. Например, образование застойных зон при отсыпке прибрежных техногенных тел может сопровождаться повышением содержания в них легкорастворимых токсичных продуктов, выщелачиваемых водой из материалов, слагающих эти тела.

9.3. СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПРОЦЕССОВ ТЕХНОГЕНЕЗА ЛИТОСФЕРЫ

Результатом техногенеза является формирование новых условий жизни, которые человек часто воспринимает как утрату среды, пригодной для его нормального существования. В крупных городах это нередко приводит к нарушению психофизиологического состояния людей, способствует развитию у населения комплекса так называемых экологических фрустраций и деприваций (Суздалева,

2015а). Их результатом становится повышенная агрессивность и асоциальность поведения. Массовое распространение подобных фрустраций и деприваций создает условия для развития социально-политических конфликтов (Суздалева, 2016а). Острота данной проблемы возрастает по мере увеличения народонаселения и расширения площади урбанизированных территорий.

Существенную роль в разрушении привычной среды существования людей играет трансформация земной поверхности, т.е. техногенез верхних слоев литосферы. Наиболее заметно это проявляется в уничтожении почвенно-растительного покрова, а также в изменении рельефа в районах крупномасштабной добычи полезных ископаемых. В некоторых регионах подобные горнопромышленные ландшафты занимают значительную часть земной поверхности (Артамонова, Бортникова, 2017). Так, на Урале доля ландшафтов, сформировавшихся в результате работы горнодобывающих предприятий, превышает 50%. В Пермской области и Хабаровском крае они, соответственно, занимают 60% и 20% территории. В Кемеровской области площадь техногенных ландшафтов, образованных при добыче угля, приближается к 90%.

Искусственно измененный вид земной поверхности во многом формирует внешний облик среды, в которой в настоящее время существуют многие люди, ее **видеоэкологию** (Филин, 1997). Степень позитивности восприятия окружающей среды сознанием человека можно обозначить как ее **видеоэкологический потенциал** (Суздалева, 2016а). Данный фактор не только во многом определяет оценку человеком уровня качества своей жизни, но и способен оказать значимое влияние на здоровье. Частота развития нервных расстройств и сердечно-сосудистых заболеваний у населения значительно возрастает, если люди постоянно видят вокруг себя только лишённые растительности участки и сооружения, не вызывающие у них положительных эмоций.

Формальное решение проблемы улучшения видеозэкологического потенциала, на основе стандартных форм рекультивации участков между зданиями и сооружениями, приводит к тому, что даже благоустроенные и озелененные городские районы с выровненным рельефом воспринимаются массовым сознанием как лишённые индивидуальных особенностей бесконечно повторяющиеся элементы чуждой ему среды. Подобное однообразие урбанизированной среды негативно влияет на психику людей и может способствовать развитию ряда синдромов, например, *типофобии*, заключающейся в болезненном восприятии повторяющихся строений и окружающих их участков, что в ряде случаев способно вызвать нарушения работы головного мозга (Логунова и др., 2014). Напротив, целенаправленное изменение рельефа, способное вызвать позитивные эмоции от его зрительного восприятия, оказывает благоприятное воздействие на сознание людей, способствует формированию у них хорошего настроения, снижает уровень агрессивности поведения. Подобная стратегия управляемого техногенеза литосферы уже нашла отражение в нормативно-правовой системе Российской Федерации. В официальных документах¹¹⁵ для описания поверхностных участков литосферы, трансформированных в процессе различных видов деятельности, используется термин «техногенный ландшафт». Создание благоприятных условий на подобных территориях обозначается как *«оптимизация техногенных ландшафтов»* – системы мер, направленных на восстановление и повышение продуктивности, природоохранной, хозяйственной и *эстетической ценности* техногенных ландшафтов, на их оптимальную реконструкцию и организацию с учетом потребностей

¹¹⁵ Например, ГОСТ Р 59070-2020 «Охрана окружающей среды. рекультивация нарушенных и нефтезагрязненных земель. Термины и определения» раздел 2, пункт 48 и др.

общества¹¹⁶. Отдельное значение придается «*социально-экономической функции*» оптимизированного ландшафта, под которой подразумевается выполнение им заданной социально-экономической роли, направленной на удовлетворение той или иной потребности общества¹¹⁷. Одной из таких потребностей и является высокий видеоэкологический потенциал среды, в которой живут люди.

Рассматривая возможные пути создания на участках техногенеза литосферы среды, позитивно воспринимаемой сознанием человека, необходимо затронуть ряд проблем, имеющих важное значение в плане результативности этой деятельности. Для минимизации негативного социально-психологического воздействия техногенеза необходимо обеспечить:

1. Комфортность техногенно-трансформированной окружающей среды. Термин «комфорт» одновременно понимается как объективный показатель качества жизни и как их интегрированное субъективное восприятие существующих условий. В контексте рассматриваемой проблемы комфорт – это, во-первых, совокупность благоприятных условий окружающей среды, при которых психические и физиологические функции человека находятся в состоянии наименьшего напряжения, а во-вторых, комплекс субъективных ощущений, связанных с состоянием наименьшего напряжения физиологических функций организма. Реализация потребности контакта человека с природой обязательно должна учитывать оба эти аспекта (объективный и субъективный).

В объективном плане большинство современных людей без специальной подготовки не готово не только к отдыху (релаксации), но и даже кратковременному пребыванию в условиях природных

¹¹⁶ ГОСТ Р 59070-2020, раздел 2, пункт 33.

¹¹⁷ ГОСТ 17.8.1.01-86 «Охрана природы. Ландшафты. Термины и определения», пункт 22.

экосистем. В целом эта среда окажет на них скорее неблагоприятное воздействие (топкие грунты, кровососущие насекомые и пр.). Аналогичный вывод можно сделать и относительно субъективной стороны проблемы. Обычный городской житель, очутившись, например, в тайге, не будет чувствовать себя комфортно (боязнь заблудиться, подвергнуться нападению хищников и т.п.). Комфортные условия для такого человека могут быть созданы только искусственно – в форме **резортов**, т.е. участков, предназначенных для отдыха и включающих позитивно воспринимаемую комбинацию из отдельных природных объектов (деревьев, лужаек-газонов, берегов водоемов и др.) и инфраструктуры, создающей удобства для пребывания в этой среде и перемещения по ней (пешеходные дорожки, скамейки и беседки для отдыха, искусственное освещение и др.) (Суздалева, Безносков, 2012; Суздалева и др., 2012). С одной стороны, создание подобных объектов обеспечивает экологическую релаксацию значительных масс населения, а с другой стороны, значительно улучшает экологические условия на освоенных человеком участках планеты.

Создание комфортной среды возможно даже в тех случаях, когда техногенез литосферы сопровождался крупномасштабным изменением рельефа земной поверхности, резко снижающим видеэкологический потенциал окружающей территории. Например, хорошие результаты может дать превращение терриконов и хребтовых отвалов, выведенных из эксплуатации горнодобывающих предприятий, в покрытые растительностью **террасированные искусственные возвышенности** (рис. 9.3). Удобство перемещения по ним (в т.ч. на автотранспорте) в сочетании с экологическим дизайном дает возможность использовать их в качестве мест массового отдыха населения (резортов).

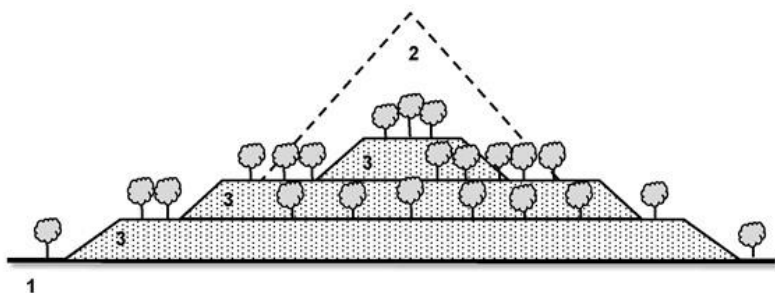


Рисунок 9.3. Схема озелененной искусственной возвышенности, сформированной на основе террикона: 1 – уровень земной поверхности до отсыпки террикона; 2 – контур ранее существовавшего террикона; 3 – озелененные искусственные террасы, созданные при изменении контура террикона

Существуют и иные методы превращения терриконов и горных отвалов в озелененные возвышенности, которые представляют собой ПТС (Логгинов, 1971; Скорик, 1975). Например, это разработанный в Донбассе метод микротеррасирования терриконов. Он заключается в создании опоясывающих склон горизонтально ориентированных небольших желобообразных уступов, в которых задерживаются семена древесных пород (рис. 9.4). Ширина микротеррас составляет 30 см. Озеленение террикона осуществляется путем гидропосева, т.е. подачи воды, содержащей семена на его вершину (рис. 9.5). Стекая с потоком воды по эрозионным промоинам, они задерживаются на микротеррасах, где происходит прорастание. В результате террикон через несколько лет превращается в искусственную возвышенность, равномерно покрытую лесной растительностью.

Успех подобных мероприятий во многом обеспечивается правильным подбором семян древесных пород, состав которых определяется как гидроклиматическим режимом засеваемых склонов, так и химическим составом слагающего их материала (Зубова и др., 2015).

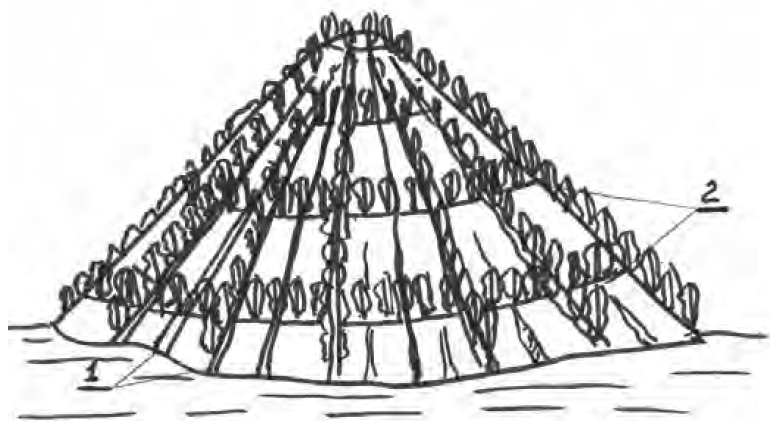


Рисунок 9.4. Озеленение террикона методом микроотрасирования: 1 – эрозионные промоины; 2 – микроотрасы (по Зубова и др., 2015)

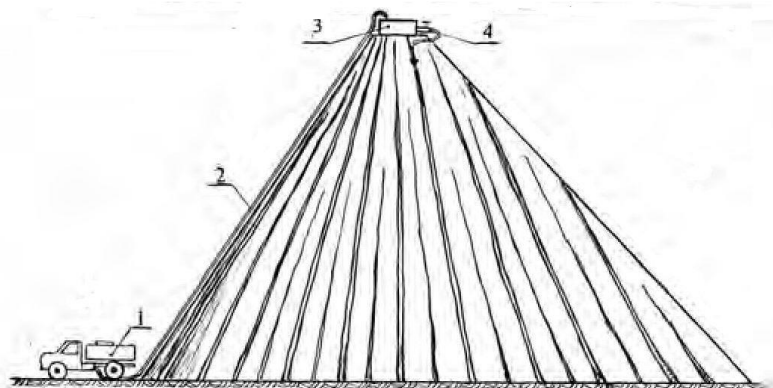


Рисунок 9.5. Способ фитомелиорации террикоников с использованием гидропосева: 1 – автоцистерна; 2 – подающий трубопровод; 3 – бак; 4 – водовыпускной патрубок (по Зубова и др., 2015).

Возникающие таким образом зеленые насаждения помимо укрепления склонов формируют местообитания для различных

видов животных, что способствует не только сохранению, но даже росту биоразнообразия региона. С этой целью для повышения экологической эффективности подобных мероприятий в Донбассе также разработаны проекты объединения локальных ПТС, создаваемых на основе отдельных озелененных терриконов, в *экосеть* (Шапарь, Скрипник, 2004; Зубова и др., 2015). Между ее отдельными объектами (ядрами экосети) прокладываются специальные экологические коридоры – полосы насаждений, предназначенных для миграции животных. Устойчивое существование подобных экосетей возможно только при условии осуществления регулярных мер по поддержанию их состояния (лесовосстановительных, противопожарных мероприятий, санитарных рубок и др.), которые в совокупности представляют собой комплексный экологический регулятор ПТС регионального масштаба.

2. Социальная привлекательность. В рассматриваемом случае – это свойство территории, вызывающее у населения желание поселиться на ней или проводить в ее пределах определенное время (работать, отдыхать, прогуливаться). Социальная привлекательность носит многоплановый и, в значительной мере, избирательный характер. Она тесно связана с комфортностью среды, но занимает в сознании человека отдельное место. Если в основе комфортности лежит удобство жизненных условий, то социальная привлекательность базируется на получении позитивных впечатлений, но не ограничивается ими. Например, важное значение может иметь престижность района города, во многом обусловленная его историческим прошлым. Восприятие социальной привлекательности одной и той же территории у разных групп населения может существенно различаться. Так, часть людей, особенно достигших возраста «поколения родителей», испытывает положительные эмоции при виде объектов, привычных им с детства. Но реновация городской застройки и техногенная

трансформации земной поверхности, непрекращающаяся в условиях урбанизации, не позволяют сохранять ранее существовавшие условия. Решением проблемы и в этом случае является учет данного фактора при создании управляемых ПТС. Прежде всего, это создание и поддержание в надлежащем состоянии объектов и элементов среды (включая ее рельеф), зрительное восприятие которых вызывает положительные эмоции в сознании большинства людей. Решение данной проблемы может осуществляться различными путями. Например, это создание резортов, имитирующих обстановку, свойственную определенной исторической эпохе. Для повышения социальной привлекательности могут использоваться и композиции из некоторых компонентов геологической среды, например, «сады камней» из валунов и обломков скальных пород, извлеченных при рытье котлованов.

Значительно улучшить социальную привлекательность может ландшафтный дизайн при укреплении склонов, например, путем их художественно оформленного террасирования или искусственно созданных техногенных обнажений массивов горных пород¹¹⁸. Интересная идея высказана относительно использовании техногенных обнажений в качестве стен заглубленных помещений, покрытых куполом из прозрачных материалов. У находящихся в них людей создается иллюзия пребывания в горном ущелье (Умнова, Шейкина, 2018). Подобные объекты могут, в частности, создаваться на основе карьеров, расположенных на урбанизированных территориях. В любом случае использование техногенных обнажений в рекреационных, а также образовательных целях (экскурсионное ознакомление со строением верхних слоев земной

¹¹⁸ Техногенные обнажения – это целенаправленно создаваемые или возникающие в качестве побочного воздействия человеческой деятельности выходы на земную поверхность пластов земной коры.

кору)¹¹⁹, требуют организации инженерно-технического обслуживания (водоотведение, мониторинг состояния крепежных элементов, мероприятий по отслеживанию и предотвращению развития геодинамических явлений и т.п.), т.е. создания управляемой ПТС.

3. Безопасность. Восприятие населением безопасности условий среды, в которой они существуют, может иметь даже большую значимость, чем ее комфортность и социальная привлекательность. Вместе с тем, следует отметить, что в сознании людей нередко одновременно присутствуют как недостаточное внимание к реальным угрозам, так и обостренное внимание к беспочвенным опасениям. Люди, в своей реальной жизни, могут практически полностью игнорировать существование некоторых опасных явлений, с весьма высокой степенью риска, и, вместе с тем, очень чутко реагировать на информацию, относительно которой в общественном сознании сложился определенный стереотип мышления, генерирующий чувства тревоги или страха (Саркисов, 2012). Человек чувствует себя комфортно не столько в условиях, где риски событий в реальности сведены к минимуму, сколько в среде, которую общество считает безопасной, даже в тех случаях, когда вероятность угрозы для жизни и здоровья в ней достаточно высока. Так, согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в автомобильных авариях ежегодно гибнет более 1,2 млн. человек. То есть каждый день по этой причине погибает свыше 3 тыс. человек. Вместе с тем, уровень безопасности жизни в крупном городе с интенсивным движением, где и происходит значительная часть подобных трагических событий, считается приемлемым. В то же время, даже непроверенные сведения о том, что в каком-то районе существуют захоронения радиоактивных материалов,

¹¹⁹ Высказывается также мысль о создании в таких сооружениях минералогических музеев.

способны вызвать панику населения. Причиной этого является распространенный в обществе страх воздействия на организм ионизирующих излучений, так называемая **радиофобия** (Белоногова, Давыдов, 2001). Эффект от получения подобной информации значительно усиливается, когда люди не осознают, в чем именно состоит угрожающая им опасность. Поэтому экологическое благоустройство урбанизированных территорий должно сопровождаться **активным экологическим имиджмейкингом** этой деятельности (Суздалева, 2016а). Одной из его задач является своевременное опровержение ложной информации об опасности процессов, происходящих в геологической среде.

Очевидно, что вопросы комфортности, привлекательности и безопасности участков земной коры, подвергающихся техногенной трансформации, должны рассматриваться в едином комплексе как отдельные аспекты оптимизации социально-экономической функции техногенных ландшафтов.

9.4. КОНЦЕПТУАЛЬНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ СОЗДАНИИ УПРАВЛЯЕМЫХ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Материалы предшествующих разделов главы позволяют сформулировать ряд принципов, которые необходимо учитывать при создании управляемых ПТС, базовым элементом которых являются различного рода техногенные геологические тела, а также при разработке мер по обеспечению сохранности структурно-функциональной организации этих систем. С одной стороны, эти принципы отражают специфические особенности процессов формирования и трансформации продуктов техногенеза земной коры как отдельной категории компонентов литосферы

(концептуальный аспект). С другой стороны, их можно использовать в качестве научной основы при разработке проектов комплексного освоения территорий, геологическое строение которых подверглось трансформации в ходе человеческой деятельности (методологический аспект). Данные принципы можно сформулировать следующим образом:

1. **Необратимость процесса формирования геологической среды.** Суть данного концептуального принципа заключается в том, что в отличие от биологических объектов, обладающих способностью к самовоспроизведению, восстановить подвергшиеся изменению в ходе человеческой деятельности почвенные профили и естественные массивы горных пород практически невозможно. Даже при удачной рекультивации верхнего плодородного слоя земной коры возникают не утраченные почвы, а природно-техногенные тела – реплантоземы и конструктороземы. Они могут включать компоненты естественного происхождения, но в значительной степени отличаются природных почв по своей структуре и свойствам, хотя и способны выполнять аналогичные геоэкологические функции. Так, при создании почвенного реплантозема (см. разд. 6.2), повторное размещение на оголенной поверхности плодородного слоя не является воссозданием ранее существовавшего почвенного профиля, различные слои которого представляли собой функционально взаимосвязанные элементы единой системы.

2. Невозможность самопроизвольного возникновения благоприятных условий на участках техногенных тел, выходящих на земную поверхность¹²⁰. Образовавшееся поверхностное техногенное геологическое тело в совокупности с заселяющими его растениями и животными в любом случае собой представляет собой ПТС. Если процесс развития данной системы происходит самопроизвольно, то возникает неуправляемая ПТС. Характерные для техногенных тел интенсивные процессы трансформации слагающих их материалов и низкий уровень плодородия обуславливают возникновение на участках их выхода на поверхность комплекс нежелательных геодинамических и геоэкологических процессов. Нередко в результате образуются территории с высоким уровнем эрозии и риска опасных экзогенных процессов, покрытые рудеральной растительностью, в которой способно существовать лишь весьма ограниченное количество видов животных. Видеоэкологический потенциал подобных ПТС, как правило, весьма низок. Изменение ситуации возможно только в том случае, если образовавшееся поверхностное техногенное геологическое тело или техногенная формация, состоящая из нескольких таких тел, включается в структуру управляемой ПТС. На практике это подразумевает создание специальных инженерно-технических систем (для предотвращения опасных склоновых процессов, водоотведения, полива, дренажа) и организацию

¹²⁰ Данный концептуальный принцип распространяется на период времени, сравнимый с продолжительностью жизни человека, т.е. на период, когда еще могут существовать юридические лица, деятельность которых стала причиной возникновения этих тел. По прошествии сотен лет на таких участках в результате длительной сукцессии могут сформироваться экосистемы, близкие по своим свойствам к естественным. Так, горные отвалы в отдаленном будущем, по окончании бурно протекающих процессов их трансформации, могут превратиться в покрытые лесом возвышенности, повышающие видеоэкологический потенциал региона их размещения.

периодически осуществляемых мероприятий (контролируемое развитие почвенно-растительного покрова, вывоз мусора и др.), в совокупности выполняющих функцию экологического регулятора.

3. Антропоцентризм. В соответствии с этим концептуальным принципом формирование управляемых ПТС на базе техногенных геологических тел должно осуществляться в соответствии с долгосрочными потребностями населения. Иногда это может сопровождаться негативным воздействием на участки природных экосистем и даже их уничтожением. Примером является создание благоприятных условий для жизни людей на искусственных земельных участках и искусственных островах. Это практически всегда неизбежно приводит к уничтожению значительных участков водных биоценозов. В определенной мере это компенсируется созданием искусственных местообитаний (озеленением конструкторземов на искусственно создаваемой среде обитания человека и организацией искусственных рифов, приводящей к росту биоразнообразия водной биоты). Несомненно, что экологическая значимость подобных мер, в сравнении с утратой участков естественной среды, является проблемой, требующей глубокого, но одновременно непредвзятого и всестороннего осмысления. Большинство современных экологов априорно воспринимают понятие «антропоцентризм» как вредную идею. Но этот стереотип мышления основан не на анализе проблемы, а эмоциях. Как правило, термин антропоцентризм употребляется лишь как противопоставление экоцентризму, т.е. концепции, главным приоритетом которой является сохранение естественной природной среды. Несомненно, что в конце эпохи промышленной революции становление и развитие подобных взглядов сыграло огромную роль. Переход научного сообщества на позиции экоцентризма и распространение этой концепции в массовом сознании заставили человечество отказаться от принципа «развития промышленного потенциала любой ценой», что позволило

сохранить многие природные объекты. Но на современном этапе, характеризующимся непрерывным увеличением народонаселения планеты, расширением и углублением техногенеза окружающей среды, безоговорочная приверженность концепции эоцентризма становится контрпродуктивной. Увеличение количества людей закономерно сопровождается расширением площадей, на которых они становятся главным фактором формирования экологических условий, благоприятных, прежде всего, для них самих. Столь же закономерно сокращаются участки естественных экосистем. Сложившееся положение представляет неизбежное следствие развития человеческой цивилизации. И никакие запретительные меры не могут предотвратить подобные явления, постепенно приобретающие глобальный масштаб. Решить проблему может только создание управляемых ПТС с комфортными условиями для жизни людей при одновременном сохранении возможно бóльшей части местообитаний растений и животных на поверхности формирующихся техногенных тел.

4. Обеспечение благоприятных условий для жизни людей и максимально возможного уровня биоразнообразия. Этот методологический принцип подразумевает своевременную разработку и осуществление мер по предотвращению угроз для здоровья людей, а также негативных воздействий на растения и животных, обусловленных образованием техногенных геологических тел и процессами их трансформации. Существует два основных направления решения этой задачи. Во-первых, это своевременное уничтожение нежелательных техногенных структур и блоков. Например, это снятие слоя нефtezема, образовавшегося вокруг хранилища нефтепродуктов и последующая его переработка или перезахоронение на полигоне для хранения отходов. Во-вторых, это изоляция техногенных тел и структур, с целью предотвращения распространения из них опасных веществ. Примером может служить сооружение ледового могильника радиоактивных отходов,

описанное в разделе 5.3. В данном случае основное назначение управляемой ПТС заключается в создании искусственных геохимических и биогеохимических барьеров по периметру подобного объекта.

5. Экономическая целесообразность использования техногенных тел. Затраты, необходимые на реализацию подобных проектов, должны окупаться прямым или косвенным образом¹²¹. Только при соблюдении данного методологического принципа возможно создать круг стейкхолдеров (заинтересованных в реализации проекта государственных структур и частных организаций) и обеспечить его устойчивое финансирование, позволяющее поддерживать структурно-функциональную организацию ПТС неограниченный по длительности период времени (Суздалева, 2019б). Разовое выделение средств, пусть даже и значительных, в данном случае бессмысленно, так как после прекращения выполнения экологическим регулятором своих функций – при исчерпании выделенных финансов – лишённая управления ПТС неизбежно деградирует. Поскольку техногенные геологические тела в значительно большей степени подвержены разрушительному воздействию внешних факторов (эрозии, разжижению и др.), чем естественные массивы горных пород, то

¹²¹ Прямую экономическую выгоду, например, может принести эксплуатация объектов, построенных на этих участках. Косвенно финансирование подобных проектов может быть экономически целесообразным по причине того, что иные пути решения назревшей проблемы потребуют значительно больших затрат. Так, экранирование свалок путем их засыпки с последующим озеленением и благоустройством территории при расширении городов, требует значительно меньше средств, чем вывоз свалочных тел и их утилизация. Очевидно, что успех этой деятельности возможен только в том случае, если благоприятные экологические условия искусственно поддерживаются (функционированием дренажных устройств, работой системы водоотведения и т.п.), т.е. создается управляемая ПТС.

ухудшение условий происходит более быстро, чем в случае утраты управления ПТС, сформированной на земной поверхности, в пределах которой литосфера ранее не подвергалась глубокому техногенезу.

Обсуждая этот вопрос, следует обратить внимание еще на одно немаловажное обстоятельство. Большинство современных людей озабоченно экологическим состоянием среды, в которой они существуют. В частности, они считают нежелательным для себя проживание на участках земной поверхности, в предшествующий период повергшихся техногенной трансформации. При возможности выбора при покупке жилья люди нередко руководствуются различными «экологическими картами», на которых такие территории обозначатся как потенциально опасные для здоровья, в отличие от участков, застройка которых осуществлялась на месте уничтоженных перед этим естественных экосистем. По этой причине создание управляемых ПТС на территориях, сложенных техногенными геологическими телами, и последующее поддержание в них благоприятных условий, как правило, требует значительно больших объемов финансирования. Помимо затрат, требуемых непосредственно на реализацию проекта, необходимо выделять средства на осуществление его активного имиджмейкинга (Суздалева, 2016а). Результаты этой деятельности должны изменить представление о территории, сложившееся в массовом сознании. Таким образом формируется и внедряется в массовое сознание психологическая установка о престижности проживания на данной территории. Примером успеха подобной деятельности служит перестройка старых фабричных помещений в центре Москвы, превращаемых в элитные апартаменты (так называемые лофты), которые расположены на подвергшихся глубокой техногенной трансформации участках земной коры. Для геологической среды таких участков весьма характерны незарегистрированные скопления промышленных отходов, из

которых возможна эманация токсичных продуктов. Вместе с тем, ее освоение (строительство подземных помещений) в центре Москвы в настоящее время экономически выгодно, главным образом, благодаря имиджу этого района. Это дает возможность расходовать значительные средства и на благоустройство земной поверхности вокруг этих объектов, в т.ч. для создания зеленых насаждений и водоемов, в совокупности представляющих управляемую ПТС, основой которой является комплекс техногенных геологических тел и структур. В других случаях среди населения распространяется информация об экологической безопасности условий и дополнительных мерах по ее обеспечению, например, отсыпке поверх ранее сформировавшихся техногенных тел слоя из экологически чистых материалов¹²², надежно изолирующего негативные воздействия со стороны, расположенной под ним геологической среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщенный анализ материалов, содержащихся в монографии, позволяет высказать ряд суждений, касающихся особенностей формирования структуры современной литосферы и действий, необходимых для предотвращения (минимизации) сопутствующих этим процессам негативных явлений:

1. На современном этапе техногенез литосферы нельзя рассматривать как совокупность разрозненных явлений, наблюдающихся на отдельных участках планеты. Значительная часть земной поверхности уже покрыта техногенными и природно-техногенными геологическими телами. Техногенной трансформации подверглись ее недра. Наблюдается тенденция

¹²² Его также следует рассматривать как одно из техногенных геологических тел, входящих в состав геологической среды данного участка литосферы.

смыкания мозаики различных техногенных тел литосферы. Это происходит не столько в структурном, сколько в функциональном аспекте. Так, возведение подземных сооружений, нарушающее гидрогеологическую структуру, может привести к активизации опасных экзогенных процессов в техногенных геологических телах, удаленных от участка строительства. При сохранении этих тенденций, в обозримом будущем велика вероятность расширения участков подобного многопланового техногенеза литосферы, которое приведет к образованию обширных техногенных геологических провинций. Закономерности формирования их структуры, а также геодинамических, геохимических и иных процессов будут существенно отличаться от таковых, выявленных при исследовании участков земной коры естественного происхождения. В этих условиях существующие в настоящее время разрозненные направления изучения процессов техногенеза литосферы (урбанизационного, горнопромышленного и др.) неизбежно столкнутся с необходимостью решения общих региональных и глобальных проблем, далеко выходящих за рамки предметов их изучения и требующих выработки новых концептуально-методологических подходов для интерпретации получаемых результатов. Это является объективной причиной необходимости развития новой междисциплинарной научной дисциплины, которую в монографии предлагается обозначить как «вторая геология».

2. Глобализация техногенеза литосферы обуславливает необходимость не только обобщенного анализа закономерностей развития данного процесса, но и смены научной парадигмы¹²³.

¹²³ В данном случае под парадигмой понимается комплекс убеждений, концепций и идей, на основе которых формируется общий характер мировоззрения и соответствующее ему видение путей решения различных проблем. Парадигма обычно включает и определенные рамки в восприятии действительности, ограничивающие область поиска этих решений.

Принятие новой креативной парадигмы позволило бы не допустить ухудшения экологической, социальной и экономической ситуации, а также минимизировать риск возникновения геополитических конфликтов, в основе которых лежат действия, предпринимаемые по целенаправленному изменению земной коры¹²⁴. Мировоззрение, присущее современному обществу и научным кругам, существенно затрудняет решение этих задач. В этой связи следует вспомнить, что основу любой научной парадигмы составляет комплекс признанных истин, незыблемость которых хотя и может теоретически считаться относительной, но де-факто практически не подвергается сомнению. На основе общепризнанной парадигмы формируются стереотипы мышления, сквозь призму которых специалисты, как правило, не осознавая этого, видят развитие ситуации и возможные формы решения возникающих проблем. Любая идея, им противоречащая, отвергается, а не вписывающиеся в традиционное видение факты, по возможности игнорируются. Но реально существующий мир со временем изменяется. Поэтому по мере

¹²⁴ Это может быть обусловлено не только описанными в разделе 7.1 случаями возникновения напряженности в международных отношениях при строительстве искусственных островов. Уже в обозримом будущем проблемы, существенно большей геополитической значимости, одновременно затрагивающие жизненно важные интересы многих стран, могут возникнуть в результате трансформации подводного рельефа, приводящего к изменению силы и направления морских течений. Так, возникновение искусственной возвышенности (техногенного подводного геологического тела) на пути придонного перемещения вод способно вызвать их подъем к поверхности (Безносков, Железный, 2000). Результатом станет понижение температуры поверхностных вод на значительной акватории и изменение гидрометеорологических условий на значительной части планеты, т.е. будет наблюдаться эффект аналогичный природному явлению Эль-Ниньо. Значительный международный резонанс неизбежно вызовет и возникновение сильных техногенных землетрясений, например, спровоцированных новыми способами более полного освоения запасов углеводородного сырья.

накопления фактов, которые уже нельзя просто отбросить, рано или поздно всегда происходит смена парадигм (Кун, 2015). Новые парадигмы несмотря на то, что открывают принципиально иные возможности решения проблем, обычно устанавливаются в процессе длительного и поэтапного разрушения устоявшихся стереотипов мышления. Как правило, это происходит в форме открытия так называемых «окон Овертона»¹²⁵. Изменение характера взаимодействия человека с окружающей средой происходит с большей скоростью, чем изменения в структуре общества или накопление научных данных, приводивших к смене парадигм в предшествующие эпохи. Кроме того, трансформация окружающей среды часто носит необратимый характер, что создает реальную угрозу для существования нашей цивилизации. Это обуславливает необходимость скорейшей смены парадигмы в данной области. Основу господствующей в настоящее время парадигмы, которую можно назвать ограничительной (Суздалева, Горюнова, 2017) составляет постулат, согласно которому природная среда должна быть изолирована от воздействий, способных вызвать ее деградацию. Предполагается, что на практике данную идею можно реализовать путем ужесточения требований нормативно-правых документов и контроля за осуществляемыми видами деятельности, а также внедрением новых экологически чистых («наилучших доступных») технологий. Необходимость подобных действий не подлежит сомнению. Вместе тем, существующие реалии (непрекращающийся рост народонаселения, расширяющаяся

¹²⁵ Обычно термин «окна Овертона» воспринимается негативно, поскольку употребляется, главным образом, для описания процесса внедрения в общественное сознание различных идей, противоречащих общечеловеческим нормам морали. Но новые научные направления нередко получают признание таким же путем (Суздалева, 2015б; Суздалева, Горюнова, 2015).

урбанизация и др.) не позволяют такими методами обеспечить устойчивое сохранение благоприятной экологической ситуации.

Достичь желаемого результата можно, только создавая на месте деградирующих естественных экосистем, управляемые природно-технические системы. Смена парадигмы в данном случае заключается в пересмотре роли традиционных форм охраны окружающей среды и перемещении приоритета к мерам по активному формированию экологических условий. Эту новую парадигму нами было предложено называть креативной (Суздалева, Горюнова, 2017). В области второй геологии – это, прежде всего, организация управляемого техногенеза земной коры, конечным результатом которого является создание искусственного ландшафта¹²⁶, являющегося благоприятной средой для жизни человека и обеспечивающего максимально возможный уровень биоразнообразия. Примером подобной реализации креативной парадигмы в области техногенеза литосферы является преобразование террикона в террасированную, покрытую растительностью искусственную возвышенность (рис. 9.3). Еще более важной и значительно более сложной задачей является обеспечение целостности биогеохимических циклов, что в условиях глобализации техногенеза литосферы возможно только при искусственном создании их некоторых звеньев. Примером может служить организация фосфорных ловушек, описанная в разделе 2.4.5.

3. Развитие второй геологии требует выработки системного подхода к изучению широкого спектра разнородных объектов (от горных отвалов и свалок твердых бытовых отходов до глубоководных океанических отложений, насыщаемых

¹²⁶ В более широком понимании – искусственное создание благоприятных геоэкологических условий с максимально возможным разнообразием местообитаний.

техногенными материалами). Для этого необходимо соблюдение нескольких условий. Во-первых, выделение базового структурного элемента, который может использоваться при описании различных образований, возникающих в земной коре при прямом или косвенном воздействии человеческой деятельности. В монографии для его обозначения предложен термин «техногенное геологическое тело», под которым подразумевается любое искусственно возникшее образование, сопоставимое по масштабам с естественными геологическими телами. Во-вторых, обобщающее исследование разнообразных техногенных геологических тел требует их классификации, позволяющей сгруппировать структурно или функционально сходные образования в отдельные категории. В-третьих, техногенные геологические тела должны получить признанный научным сообществом статус и описываться как отдельные элементы геологической структуры изучаемого участка литосферы. Их исследование необходимо проводить в комплексе с соприкасающимися с ними естественными массивами горных пород. Особое внимание следует уделять процессам их взаимодействия. Например, это касается распространения компонентов техногенных тел (в т.ч. токсичных и радиоактивных) с подземными водами, в результате чего в массивах горных пород образуются обширные зоны техногенного влияния. Большую значимость могут иметь и геодинамические процессы, которые возникают в результате интенсивной механической и физико-химической трансформации техногенных тел. Как правило, подобные воздействия носят локальный характер, но могут стать триггером процессов, способных нарушить целостность естественных массивов горных пород на значительном протяжении. Примерами могут служить техногенные землетрясения и масштабные оседания над подземными горными выработками.

ЛИТЕРАТУРА

Абаева Г.М. Эффективность применения искусственных островов морских месторождений на последней стадии их разработки (обзор) // Вестник КазНИТУ. 2016. №2. С.304-309.

Абелев Ю.М., Крутов В.И. Возведение зданий и сооружений на насыпных грунтах. М.: Госстройиздат, 1962. 241 с.

Абдрахманов Р.Ф. Проблема удаления жидких промышленных отходов в глубокие водоносные горизонты // Геологический вестник. 2019. №1. С.159-165.

Абдулаева А.С. Радиоактивность горных пород, почв, природных вод Дагестана и обусловленные ими эффективные дозы // Юг России: экология, развитие. 2012. №3. С.89-106.

Абдулатипов Ж.Ю. Геолого-минералогические особенности формирования терриконов и изучение причин их самовозгорания // Вестник РУДН. Сер. Инженерные исследования. 2014. №1. С.83-86.

Абрамкин Н.И. Обоснование параметров технологической схемы размещения и сжигания отходов в подземном пространстве закрываемых шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. №3. С.37-38.

Авдусин Д.А. Полевая археология СССР. Учеб. пособ. М.: Высш. школа, 1980. 335 с

Агафонов В.В., Иванов А.Н. Технология использования пространства горных выработок и очистных забоев для размещения отходов производства // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. №1. С.166-170.

Агошков М. И. Развитие идей и практики комплексного освоения недр // Горный журнал. 1984. №3. С. 2-6.

Агрономические руды СССР. Труды научного института по удобрениям им. Я.В. Самойлова. Вып. 100. Т.1. Ч.2. Москва-Ленинград-Новосибирск: Гос. научно-технич. горное изд-во, 1932. 258 с.

Адушкин В.В. Тектонические землетрясения техногенного происхождения // Физика земли. 2016. №2. С.22-44.

Адушкин В.В., Козлов С.И. О возможности создания геофизического ОРУЖИЯ // Защита и безопасность. 2010. №4(55). С.28-31.

Адушкин В.В., Козлов С.И. К вопросу о геофизическом оружии // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2011. №2. С.99-109.

Адушкин В.В., Спивак А.А. Изменение свойств горных пород и массивов при подземных ядерных взрывах // Физика горения и взрыва, 2004. Т.40. №6. С.15-24.

Адушкин В.В., Спивак А.А. Физические поля в приповерхностной геофизике. М.: ГЕОС, 2014. 359 с.

Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы). М.: ИНЭК, 2005. 252 с.

Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенная сейсмичность – индуцированная и триггерная. М.: ИДГ РАН, 2015. 364 с.

Айбулатов Н.А., Артюхин Ю.В. Геоэкология шельфа и берегов Мирового океана. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 304 с.

Аксенова Е.В., Бармин А.Н., Валов М.В. Классификация городских почв в системе российской классификации почв // Экология России на пути к инновациям. Межвузовский сборник научных трудов. Астрахань: Изд-во ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный университет», 2019. С.83-87.

Александровская Е.И., Александровский А.Л. Историко-географическая антропохимия. М.: НИИ-Природа, 2003. 204 с.

Александровский А.Л. Культурный слой: генезис, география, систематика, палеоэкологическое значение // Материалы междисциплинарной научной конференции «Археология и естественные науки в изучении культурного слоя объектов археологического наследия». М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. С.7-16.

Алексанин А.В., Сборщиков С.Б. Безопасность строительных систем. Экологические проблемы в строительстве. Геоэкология // Вестник МГСУ. 2013. № 1. С.148-155.

Алексеев А.С., Бадюков Д.Д., Назаров М.А. Граница мела и палеогена и некоторые события на этом рубеже. // Импактные кратеры на рубеже мезозоя и кайнозоя. Л.: Наука, 1990. С.8-24.

Алексеев В.Р. Криопэги – жидкая мерзлота // Наука и техника в Якутии. 2014. № 2(27). С.64-74.

Алексеев С.В. Криогенез подземных вод и горных пород (на примере Далдыно-Алакитского района Западной Якутии). М.: Издание СО РАН НИЦ ОИГГМ, 2000 г. 111 с.

Алексеева О.И., Балобаев В.Т., Григорьев М.Н., Макаров В.Н., Чжан Р.В., Шац М.М., Шепелев В.В. О проблемах градостроительства в криолитозоне (на примере Якутска) // Криосфера Земли. 2007. Т. XI. №2. С.76-83

Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов. М.: Изд-во МГУ, 1998. 202 с.

Алексеев С.В., Бородулин В.Ю., Гнатусь Н.А., Низовцев М.И., Смирнова Н.Н. Проблемы и перспективы развития петротермальной энергетики (обзор) // Теплофизика и аэромеханика. 2016. Т.23. №1. С.1-16.

Алексейко Л.Н, Таскин А.В., Черепанов А.А., Юдаков А.А. Комплексная переработка золошлаковых отходов ТЭЦ гг. Хабаровск и Биробиджан // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. 2016. №1(17). С.22-34.

Алешина Т.А. Свалочный метан как востребованное сырье в США // Экология урбанизированных территорий. 2013. №4. С.87-90.

Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. М.: Физматлит, 2008. 376 с.

Алхасов А.Б. Использование геотермальной энергии для выработки электроэнергии // Изв. РАН. Энергетика. 2010. №1. С. 59-72.

Алхасов А.Б. Возобновляемая энергетика М.: Физматлит, 2012. 256 с.

Алхасов А.Б. Возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс]: учебное пособие М.: Издательский дом МЭИ, 2016. 271 с.

Алхасов А.Б., Алхасова Д.А. Перспективные технологии освоения геотермальных ресурсов // Известия РАН. Энергетика. 2014. №5. С.144-157.

Алхасов А.Б., Алхасова Д.А., Алиев Р.М., Рамазанов А.Ш. Комплексное освоение геотермальных ресурсов // Юг России: экология, развитие. 2016. Т.11. №1. С.149-158.

Алхасов А.Б., Алхасова Д.А., Рамазанов А.Ш., Каспарова М.А. Перспективы комплексного освоения высокопараметрических геотермальных рассолов // Теплоэнергетика. 2015. №6. С 11-17.

Альварес У., Азаро Ф. Удар из космоса. // В мире науки. 1990. №12. С.32-39.

Амаева Ф.Ш., Алигаджиев М.М., Абдурахманова А.А. О размещении искусственного рифа в Каспийском море // Аридные экосистемы. 2016. Т.22. №2(67). С.87-92.

Амбарян О.А., Горюнов Б.Ф., Белинская Л.Н. Устройство морских портов. М.: Транспорт, 1987. 272 с.

Ананьев В.П., Потапов А.Д. Инженерная геология: Учеб. для строит, спец. вузов. М.: Высш. шк., 2002. 511 с.

Андрюшин И.А., Чернышев А.К., Юдин Ю.А. Укрощение ядра. Страницы истории ядерного оружия и ядерной инфраструктуры СССР. Саранск; Саров: Типография «Красный октябрь», 2003. 481 с.

Аникина Н.В. Антропогенная трансформация рельефа городской территории (на примере центра Москвы) // Ярославский педагогический вестник. 2013. № 4. Том III (Естественные науки). С.254-257.

Анисимов О.А., Белолуцкая М.А. Оценка влияния изменения климата и деградации вечной мерзлоты на инфраструктуру в северных регионах России // Метеорология и гидрология. 2002. №6. С.15-22.

Анисимов О.А., Лавров С.А., Ренёва С.А. Оценка изменения эмиссии парниковых газов из многолетнемерзлых болот криолитозоны России в условиях глобального потепления // Современные проблемы экологической метеорологии и климатологии. СПб.: Гидрометеоздат, 2005. С.114-138.

Антонов Е.В., Махрова А.Г. Крупнейшие городские агломерации и формы расселения наагломерационного уровня в России // Известия РАН. Сер. Географическая. 2019. №4. С.31-45.

Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. Методологические основы классификации почв мегаполисов на примере г. Санкт-Петербурга // Вестник СПбГУ. Сер. 3. 2013. Вып. 2. С. 115-122.

Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. Классификация городских почв в системе российской и международной классификации почв // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 79. С.53-72.

Апшлби Л.Дж., Девелл Л., Мишра Ю.К., Войс Э.Х. Источники // Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Мир после Чернобыля. М.: Мир, 1999. С.13-55.

Аренс В.Ж., Бабичев Н.И., Башкатов А.Д., Гридин О.М., Хрулёв А.С., Хчеян Г.Х. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых. М.: "Торная книга", 2007. 295 с.

Арефьева Е.В., Мирмович Э.Г. Потенциальный источник ЧС в виде подтопления // В сб.: Междисциплинарные исследования проблем обеспечения безопасности жизнедеятельности населения в современных условиях. М.: Изд-во: ООО "ИПП "КУНА". 2007. С. 244-251.

Артамонова В.С., Бортникова С.Б. Почвоподобные образования техногенных ландшафтов: история изучения, терминология, современные аспекты (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2017. №1. С.4-13.

Артамонова С.Ю. Техногенные радионуклиды в природных водах районов мирных подземных ядерных взрывов «Кратон-3» и «Кратон-4» // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2013. №5. С.417-428.

Артюхин Ю.В. Антропогенный фактор в развитии береговой зоны моря. Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1989. 144 с.

Архипов, А.В., Решетняк С.П. Техногенные месторождения. Разработка и формирование: монография. Апатиты: КНЦ РАН, 2017. 175 с.

Афонин А.П., Дудлер И.В., Зиангиров Р.С., Лычко Ю.М., Огородникова Е.Н., Спиридонов Д.В., Черняк Э.Р., Дроздов Д.С. Классификации техногенных грунтов // Инженерная геология. 1990. №1. С.115-121.

Ахметов А.Ф., Гайсина А.Р., Мустафин И.А. Методы утилизации нефтешламов различного происхождения // Нефтегазовое дело. 2011. Том 9. № 3. С.108-111.

Багазеев В.К., Валиев Н.Г., Кокарев К.В. Основы подземной геотехнологии: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. 198 с.

Бадмаев Н.Б. Геоинформационные технологии распознавания заброшенных скотомогильников. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2017. 164 с.

Базавлук В.А. Мелиоративное обустройство территорий: учебное пособие. Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2014. 184 с.

Баздырев Г.И., Лошаков В.Г., Пупонин А.И., Рассадин А.Я., Сафонов А.Ф., Туликов А.М. Земледелие. Учебник для вузов. М.: Колос, 2000. 550 с.

Балахчина Т.К. Оценка воздействия свалочного газа с полигонов твердых бытовых отходов на человека // Научный диалог. 2012. №2. С.41-57.

Бальзанников М.И., Шабанов В.А., Галицкова Ю.М. Воздействие необустроенных свалок города на окружающую среду // Экология и промышленность России. 2009. № 4. С. 38-41.

Басарыгин Ю.М., Булатов А.И., Проселков Ю.М. Заканчивание скважин М.: Недра, 2000. 666 с.

Басарыгин Ю.М., Булатов А.И., Проселков Ю.М. Технология бурения нефтяных и газовых скважин. М.: Изд-во Недра, 2001. 674 с.

Басс О.В. Современная концепция берегозащиты и гидротехнического строительства на морских берегах Калининградской области // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2015. Вып. 1. С. 138-144.

Бахаева С.П., Дубинин С.В. Об оценке геозкологического ущерба от оползания техногенного массива // «Известия вузов. Горный журнал». 2016. №3. С.59-66.

Башкатов А.Д. Прогрессивные технологии сооружения скважин. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. 554 с.

Башкин В.Н. Биогеохимия. М.: Высш. школа, 2008. 423 с.

Безносков В.Н. Процесс детритообразования в условиях нарушения структуры водных масс в морских водоемах. // Экосистемные перестройки и эволюция биосферы Вып.4. М.: Изд-во ПИН РАН, 2000а. С.154-159

Безносков В.Н. Крупномасштабные нарушения гидрологической структуры океана, биотические кризисы и их фиксация в геологической летописи // Стратиграфия, геологическая корреляция. 2000б. Т.8. №3. С.3-13.

Безносков В.Н., Горюнова С.В., Наумов А.Е., Суздалева А.А. Экологический аудит радиоактивного загрязнения территории: проблемы и возможные пути их практического решения // Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». 2008. №1. С. 87-94.

Безносков В.Н., Железный Б.В. Критический объем нарушения стратификации океана способного вызвать крупномасштабное изменение баланса продукционно-деструкционных процессов и биогеохимического цикла углерода. // Экосистемные перестройки и эволюция биосферы Вып.4. М.: Изд-во ПИН РАН, 2000. С.160-164.

Безносов В.Н., Никитенков Б.Ф., Железный Б.В., Суздалева А.Л., Пшеничный Б.П. Искусственный рециклинг биогенов путем утилизации глубинных вод в морских и континентальных водоемах // Природообустройство и экол. проблемы водн. хоз-ва и мелиорации. М.: Изд. Московск. гос. ун-та природообустройства, 1999. С.63-64.

Безносов В.Н., Суздалева А.Л. Методика оценки засорения водных объектов // Доклады Московск. об-ва испытателей природы. Т.36. М.: Изд-во ООО «Графикон-принт», 2005. С.15-18.

Безносов В.Н., Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Дестратификационное загрязнение среды // Вестник Российского ун-та дружбы народов. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 1998/1999. №3. С.85-90.

Белицина Г.Д., Васильевская В.Д., Гришина Леонора Александровна, Евдокимова Т.И., Зборищук Н.Г., Иванов В.В., Левин Ф.И., Николаева С.А., Розанов Б.Г., Самойлова Е.М., Тихомиров Ф.А. Почвоведение. Учеб. для ун-тов. Ч.1. Почва и почвообразование. М.: Высш. шк., 1988. 400 с.

Белов С.В. Золото. Техногенные месторождения // Информационно-аналитический журнал «Золотодобывающая промышленность». 2008. №3(27). С.30-37.

Белоногова М.В., Давыдов Б.И. Социально-психологические аспекты восприятия техногенных рисков // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2001. Т.35. №1. С.5-11.

Белоокая Н.В., Пивоварова Е.И. Обзор альтернативных источников энергии. геотермальная энергия // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2015. №1(12). С.57-72.

Белоусов В.И. Белоусова С.П. Природные катастрофы и экологические риски (на примере развития геотермальной энергетики). Петропавловск-Камчатский: Изд-во КГПУ, 2002. 160 с.

Белоусов В.И., Постников А.И., Мельников Д.В., Белоусова С.П. Геотермальные ресурсы: учебно-методическое пособие. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КГПУ, 2005. 105 с.

Беляков А.А. Римское право и законы Российской империи в связи с проблемой рационального водопользования // IVS ANTIQVVM. Древнее право. 1998. №1(3). С.125-135.

Берман Э. Геотермальная энергия. М.: Изд-во Мир, 1978. 416 с.

Богатов С.А. Захоронение остеклованных ВАО в вертикальных скважинах с цементной закладкой – плюсы и минусы с точки зрения обеспечения долговременной безопасности ПГЗРО // Радиоактивные отходы. 2018. №1(2). С.21-33.

Богомолов А.Н., Олянский Ю.И., Шекочихина Е.В., Кузьменко И.Ю., Степанова Е.А., Чарыков Д.А. Экологические аспекты изменения геологической среды, учитываемые при проектировании оснований и фундаментов на глинистых грунтах // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 43(62). С.25-34.

Богуславский Э.И. Освоение тепловой энергии недр [Электронный ресурс]: монография. СПб.: Изд-во Научное издание, 2020. 435 с. URL: <https://publishing.intelgr.com/archive/osvoenie-teplovoy-energii-nedr.pdf>.

Большов С.И., Неходцев В.А. Субрельеф и субтерральные процессы как фактор эколого-геоморфологической опасности в городах // Вестник Рязанского гос. ун-та им. С.А. Есенина. 2016. №1(50). С.88-106.

Большов С.И., Неходцев В.А., Харченко С.В. Подземный рельеф Москвы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2017. №2. С.59-73.

Борголов И.Б. Сельскохозяйственная геология. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2000. 319 с.

Боровский М.Я., Шакуро С.В., Борисов А.С., Богатов В.И. Полигоны твердых бытовых отходов и свалки как дополнительные источники углеводородного сырья и объекты экологического мониторинга // Управление техносферой: электрон. журнал, 2020. Т.3. Вып.2. URL: <http://fing.udsu.ru/technosphere>. С.191-206.

Бороздина Я.А. К вопросу о собственности на подводное культурное наследие // Ученые записки Петрозаводского гос. университета. 2011. Т.1. №7. С.110-112.

Бортникова С.Б., Гаськова О.Л., Айрияц А.А. Техногенные озера: формирование, развитие и влияние на окружающую среду. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал "Гео", 2003. 120 с.

Бортникова С.Б., Гаськова О.Л., Бессонова Е.П. Геохимия техногенных систем. Новосибирск: Академическое изд-во "Гео", 2006. 169 с.

Бочаров В.Л. Геоэкология как наука: структурирование и тезаурус, современное состояние и перспективы развития // Вестн. Воронеж. ун-та. Геология. 2004. №2. С. 166-171.

Бочаров В.Л., Крамарев П.Н., Строгонова Л.Н. Геоэкологические аспекты прогноза изменения окружающей среды в районах полигонов захоронения золошлаковых отходов теплоэлектростанций // Вестник Воронежского университета. Геология. 2005. № 1. С. 233-240.

Бровко П.Ф., Малюгин А.В. Техногенная трансформация берегов Японского моря // Ойкумена. 2015. №3. С.7-14.

Буланкин В.М., Завьялов В.И., Судаков В.В. Характеристика культурного слоя кремля Переяславля Рязанского // Российская археология. 2010. №1. С.116-124.

Булатов А.И., Проселков Ю.М., Шаманов С.А. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин: учеб. для ВУЗов. М.: «Недра-Бизнесцентр», 2003. 1007 с.

Бучкин М.С., Зайцев А.С., Коробейников В.А. Оценка изменений геологической среды в районах горнодобывающих комплексов. // Влияние добычи полезных ископаемых на окружающую среду. Ч.1. М.: МГУ, 1989. С.171-186.

Вавилин В.А. Ускорение процессов разложения твердых бытовых отходов на городской свалке как активной среде // Управление отходами. 2006. №4. С.62-67.

Ваганов П.А. Что понимают под термином “Environmental Geology” на Западе? // Школа экологической геологии и рационального недропользования: Мат. шестой Межвузовской молодежной научной конференции: СПб.: СГУ, 2005. С. 96-104.

Вакуленко И.С., Смирнов В.И., Сурин С.Д. Опыт строительства и перспективы использования подземных резервуаров в многолетнемерзлых породах для захоронения отходов бурения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. №1. С. 222-229.

Вальдман Н.А., Викторов С.В., Илюхин В.Н., Озерова Л.Л. Влияние затонувших судов на экологическую безопасность прибрежных акваторий и береговых зон России // Труды Крыловского гос. научн. центра. 2019. Т.4. №390. С.231-244.

Вареха Ж.П., Тобагабулова Ж.Б. К вопросу подземного сжигания бактериологических, отравляющих веществ и токсичных промышленных отходов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. №8. С.309-313.

Варлакова Г.А., Осташкина Е.Е., Голубева З.И. Оценка противомиграционных свойств материалов для буферной засыпки приповерхностного хранилища радиоактивных отходов // Радиохимия. 2013. Т.55. №6. С.549-552.

Васенев В.И., Макаров О.А. Агрохимические и микробиологические особенности конструкторземов Москвы и Московской области // Агрохимический вестник. 2011. №4. С.37-40.

Василенко И.Я. Токсикология продуктов ядерного деления. М.: Медицина, 1999. 198 с.

Васильев Ю.С., Масликов В.И., Чусов А.Н., Еремина Т.Р., Ершова А.А., Шилин М.Б. Управление потоками плавающего мусора в зарегулированных речных системах // Ученые записки РГГМУ. 2018. №52. С.138-153.

Вассоевич Н.Б. О терминологии, применяемой для обозначения стадий и этапов литогенеза // Геология и геохимия. Вып. I(VII). 1957. С. 156-176.

Вахромеев Г.С. Экологическая геофизика. Иркутск: ИрГТУ, 1995. 216 с.

Велин А.С. Особенности миграции углеводородов в грунтах зоны аэрации и подземных водах в местах расположения крупных нефтехранилищ // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2018. № 1. С. 142-147.

Веригина Е.Л. Изучение изменения свойств осадков городских сточных вод на площадках естественной сушки // Известия МГТУ «МАМИ». Серия «Химическое машиностроение и инженерная экология». 2014. Т.3. №1(19). С.91-98.

Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. М.: Айрис-пресс, 2004. 576 с.

Веселко А.Ю. Экологические аспекты при освоении и вводе в эксплуатацию геотермальных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. №S63. С.271-274.

Виноградов А.П. Биогеохимические провинции и эндемии // Докл. АН СССР. 1938. Т.18. №4. С. 14-22.

Виноградова О.Л., Томиловская Е.С., Козловская И.Б. Гравитационный фактор как основа эволюционного приспособления животных организмов к деятельности в наземных условиях // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020. Т54. № 6. С.5-26.

Висков М.В. Использование свойств природных материалов для создания геохимических барьеров при строительстве объектов захоронения отходов // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. 2011. №4. С.122-129.

Висков М.В., Воронкова Т.В. Возможности применения естественных грунтов как геохимических барьеров на эксплуатационном и постэксплуатационном этапах жизненного цикла полигона захоронения ТБО // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2014. №2. С.144-153.

Владимиров В.В., Давидянц Г.Н., Расторгуев О.С., Шафран В.Л. Инженерная подготовка и благоустройство городских территорий. М.: Изд-во М.: Архитектура-С, 2004. 240 с.

Власов А.С. Характер распределения золота в отвалах горных работ. Труды ВНИИ-1. 1960. Выпуск 65. 311 с.

Власов С.Н., Торгалов В.В., Виноградов Б.Н. Строительство метрополитенов: учебник. М: Транспорт, 1987. 278 с.

Водно-экологические проблемы бассейна р. Амур. Владивосток: Изд-во ДВО РАН, 2003. 187 с.

Вовк И.Г. Вариации гравитационного поля при изменении уровня водохранилища // Геодезия и картография. 1982. № 9. С. 12-15.

Вовк И.Г., Татаренко В.И. Техногенная геодинамика и безопасность технических систем // Гео-Сибирь. 2008. Т.3. №2. С.128-131.

Водяницкий Ю.Н., Шоба С.А. Биогеохимические барьеры для ремедиации почв и очистки почвенно-грунтовых вод // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2016. №3. С.3-15.

Волнина О.В. Оценка геоэкологической ситуации в районах подводных отвалов грунта в восточной части финского залива // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. №20. С.172-186.

Вульфович Р.М. Агломерация, мегалополис и мегаполис (соотношение понятий) // Евразийская интеграция: экономика, право, политика. 2007. №2. С.91-92.

Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод. М.: Ассоциация строительных вузов, 2006. 704 с.

Восконьян В.Г. Здоровье моря // Фундаментальные исследования. 2005. №9. С.108-110.

Воскоњян В.Г. Строительство искусственного острова // Современные наукоемкие технологии. 2006. №8. С.84-86.

Гайко Г.И., Заев В.В., Шульгин П.Н. Утилизация тепловой энергии при подземной термохимической переработке угольных пластов: Монография Алчевск: ДонГТУ, 2012. 142 с.

Гайко Г.И., Касьянов В.А., Семикин С.М. Концепция шахты-электростанции, основанной на подземном сжигании угольных пластов// Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. №1. С.292-296.

Галанина Т.В. Проблемы утилизации отходов животноводства в Кузбассе // Успехи современного естествознания. 2004. №2. С.97-98.

Галицкая И.В., Позднякова И.А. К проблеме загрязнения подземных вод и пород зоны аэрации нефтепродуктами и ПАУ на городских территориях // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2011. №4. С. 337-343.

Галицкова Ю.М. Необустроенные свалки на городских территориях // Вестник МАНЭБ. 2008. Т.13. №3. С. 166-170.

Галицкова Ю.М. Защита почвы и грунтов городских территории от воздействия необустроенных свалок // Вестник МГСУ. 2009. №1. С. 100-104.

Галицкова Ю.М., Михасек А.А. Использование отходов в промышленном и гидротехническом строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2015. №6. С.51-54.

Галкин А.Н., Тимошкова А.Д., Красовская И.А., Торбенко А.Б. Особенности проявления современных экзогенных процессов на территории Витебска // Литасфера. 2007. №1(26). С.73-77.

Гальперин А.М., Кутепов Ю.И., Кириченко Ю.В., Киянец А.В., Крючков А.В., Круподеров В.С., Мосейкин В.В., Жариков В.П., Семенов В.В., Клапперих Х., Тамашкович Н., Чешлок Х. Освоение техногенных массивов на горных предприятиях: Монография. М.: Издательство «Горная книга», 2012. 336 с.

Гальперин А.М., Фёрстер В., Шеф Х.-Ю. Техногенные массивы и охрана природных ресурсов. Т.1. Насыпные и намывные массивы. М.: Изд-во Московск. гос. горного университета, 2006а. 391 с.

Гальперин А.М., Фёрстер В., Шеф Х.-Ю. Техногенные массивы и охрана природных ресурсов. Т.2: Старые техногенные нагрузки и наземные свалки. М.: Изд-во Московск. гос. горного университета, 2006б. 259 с.

Галян Д.А., Швец Т.С. Решение экологических проблем бурения и освоения скважин // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008. №6. С.8-12.

Гарипова Р.Ф. Практика устройства сельскохозяйственных полей орошения как способ утилизации хозяйственно-бытовых, промышленных стоков и проблема техногенного загрязнения // Научный журнал КубГАУ. 2006. №23(7). С.1-14.

Гафуров А.М., Осипов Б.М., Гафуров Н.М., Гатина Р.З. Перспективы использования бинарных циклов в утилизации низкопотенциальной теплоты на геотермальных электростанциях // Проблемы энергетики. 2017. Т.19. №5-6. С.14-24.

Геворкян С.Г., Голубов Б.Н. О деформациях полостей подземных ядерных взрывов в районе Астраханского газоконденсатного месторождения (АГКМ) // Геоэкология. 1998. №2. С.17-37.

Гельфгат М.Я. Технологии бурения скважин в России – истоки и перспективы развития // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2014. №4. С.21-32.

Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы. Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. Сер. 11 Университеты России. М.: Юрайт, 2018. 263 с.

Гиббард Ф.Л. Четвертичная система (период) и ее основные подразделения // Геология и геофизика. 2015. Т.56. №4. С.873-875.

Гиммельфарб Б.М., Агрономические руды. М.-Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 1938. 72 с.

Главатских В.А., Молчанов В.С. Строительство метрополитенов: Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта М.: Маршрут, 2006. 680 с.

Глаголев Е.Б. Генетическая классификация техногенных минеральных образований // Всероссийская научная конференция. Годичное собрание РМО. Екатеринбург: Изд-во ИГГ УрО РАН, 2008. С. 103-107.

Голеусов П.В. Пространственная неоднородность новообразованного почвенного покрова в условиях техногенного рельефа // Экологический мониторинг. 2009. №1. С.37-41.

Городниченко В.И., Дмитриев А.П. Основы горного дела. М.: Изд-во «Горная книга»; Изд-во Моск. Гос. горного ун-та, 2008. 440 с.

Горшков С.П. Экзодинамические процессы освоенных территорий. М.: Недра, 1982. 286 с.

Горшков С.П. Концептуальные основы геоэкологии. М.: Желдориздат, 2001. 569 с.

Гостищев Д.П., Хватыш Н.В., Валиев Д.С. Экологические проблемы охраны окружающей среды при орошении сточными водами и животноводческими стоками // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. №3(23). С.238-250.

Грачев А.П., Баева Л.С. Исторические аспекты международной проблемы захоронения радиоактивных отходов в морях // Вестник МГТУ. 2004. Т.7. №3. С.478-484.

Грехнев Н.И., Жовинский Э.Я. Геохимия техногенеза Дальнегорского горнопромышленного района южного Приморья России // Минерал. журн. 2009. Т.31. № 4. С.77-82.

Грехнев Н.И., Рассказов И.Ю. Геохимическая трансформация отходов обогащения руд в горнопромышленных районах юга Дальнего Востока // Тихоокеанская геология. 2016. Т.35. №2. С.107-113.

Гриб Г.В., Гриб Н.Н. Проявление техногенной сейсмичности в Южной Якутии // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. №1(3). С.636-640.

Грушевенко Д., Грушевенко Е. Нефть сланцевых плеев – новый вызов энергетическому рынку? Информационно-аналитический обзор. Центр изучения мировых энергетических рынков. М.: ИНЭИ РАН, 2012. 50 с.

Грушевенко Е.В., Грушевенко Д.А. Сланцевая нефть: технологии, экономика, экология // Экологический вестник России. 2013. №5. С.28-33.

Грязнов О.Н., Елохина С.Н. Геоэкологические проблемы горнопромышленного техногенеза на Урале // Известия УГГУ. 2017. Вып.2(46). С. 28-33.

Гудзенко В.Т., Вареничев А.А., Громова М.П. Информационно-аналитический обзор по сланцевым газам // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2013. №6. С.49-56.

Гудков А.Г. Биологическая очистка сточных вод: учебное пособие. Вологда: ВоГТУ, 2002. 127 с.

Гулин М.Б. К актуализации исследований перманентного накопления донных отложений из аллохтонных и автохтонных взвесей в пресноводных

и морских водоемах // Всерос. науч. конф. «Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.». Петрозаводск: ИВПС Кар. НЦ РАН, 2015. С.407-413.

Гурвич В.И., Лифшиц А.Б. Свалочный газ: перспективы добычи и утилизации // Твердые бытовые отходы. 2006. №8. С.4-9.

Гурская Л.И., Снежко О.Н., Васильев С.П., Молчанов А.В. Техногенные месторождения платиновых металлов – новый источник ценного промышленного сырья // Региональная геология и металлогения. 2016. №66. С.80-90.

Данзанова М.В., Павлова И.А. Экспериментальные исследования фильтрационных свойств грунтов, вмещающих надмерзлотные криопэги, на территории Якутска // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 2016. №6. С.567-576.

Даувальтер В.А. Факторы формирования химического состава донных отложений озер. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2002. 75 с.

Дворникова Е.В. Исследование особенностей взаимодействия продуктов газификации угольных пластов и подземных вод // Науч. сообщ. Ин-т горн. дела им. А.А. Скочинского. 1994. Вып.295. С.48-56.

Дещеревский А.В., Сидорин А.Я. Влияет ли лунно-солнечный гравитационный прилив на активность животных? // Геофизические процессы и биосфера. 2010. Т.9. №2. С. 50-66.

Диттрич Т. Повседневная жизнь викторианской Англии. М.: Молодая гвардия, 2007. 382 с.

Дмитриев А.Ю. Основы технологии бурения скважин: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 2016 с.

Добина А.С., Евстропов Н.А. Сооружение подземных хранилищ. М.: МГИ, 1967. 129 с.

Добровольский В.В. Отв. ред. Свинец в окружающей среде М.: Наука, 1987. 181 с.

Докучаев В.В. Лекции о почвоведении. Избранные труды. М.: Изд-во Юрайт, 2020. 464 с.

Долгих А.В., Александровский А.Л. Почвы и культурный слой Великого Новгорода // Почвоведение. 2010 №5. С.515-526.

Достовалов Б.Н., Кудрявцев В.А. Общее мерзлотоведение. Изд-во МГУ, 1967. 403 с.

Дранников А.М. Инженерная геология Киев: Госстройиздат УССР, 1959. 223 с.

Дрегуло А.М., Кулибаба В.В., Гильдеева И.М. Иловые площадки как специфические объекты прошлого экологического ущерба (в частном бассейне Финского залива) // Общество. Среда. Развитие. 2016. №3. С.115-119.

Дроздов А.В., Попов В.Ф. Удаление дренажных рассолов в недра криолитозоны при разработке алмазных месторождений Якутии // Разведка и охрана недр. 2013. №12. С.44-49.

Дунаев Н.Н., Леонтьев И.О., Marti J.L.J. К Проблеме защиты берегов курорта Варадеро (Куба) искусственным пляжем // Океанология. 2020. Т.60. №4. С.622-628.

Дядькин Ю.Д., Минаев Ю.Л. Физико-химические основы геотехнологии // Л.: ЛГИ, 1984. 96 с.

Ежов А.И. Оценка техногенного сырья в Российской Федерации (твердые полезные ископаемые) // Горные науки и технологии. 2016. №4. С.62-75.

Ежова Н.Н., Власов А.С., Сударева С.В., Делицын Л.М. Золошлаковые отходы тепловых электростанций – ценный сырьевой продукт для черной и цветной металлургии // Экология промышленного производства. 2010. №2. С.45-53.

Елдышев Ю.Н. Парниковые газы: эффекты и проекты // Экология и жизнь. 2009. № 9(94). С.48-56.

Елохина О.В., Елохин В.А. Мониторинг подземных вод в районе размещения свалки твердых промышленных отходов // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 1. С.86-92.

Елохина С.Н. Гидрогеоэкологические последствия горного техногенеза на Урале. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2013. 187 с.

Еремеев В.М. (под ред.) Экологический мониторинг ликвидации неперспективных шахт Восточного Донбасса. Шахты: Изд-во ЮРО АГН, 2001. 182 с.

Ермаков В.В. Концепция биогеохимических провинций А.П. Виноградова // Геохимия. 2017. № 10. С.875-890.

Ершов Э.Д., Пармузин С.Ю., Лисицына О.М. Проблемы захоронения радиоактивных отходов в криолитозоне // Геоэкология. 1995. № 5. С.20-36.

Ефимов Д.Ю. Организация растительного покрова аквальных экосистем отвалов Бородинского угольного разреза (Канская лесостепь, Восточная Сибирь) // Сибирский лесной журнал. 2016. №2. С.32-42.

Ефимовых И.С., Богатова Т.Ф. Подземная газификация угля // Мат. междунаrodn. научно-практ. конф. «Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии // Екатеринбург: Изд-во Уральск. федерального университета, 2017. С. 167-170.

Ефремкин И.М., Рогозин М.А. Обеспечение экологической безопасности при бурении скважин на месторождении «Приразломное» путем закачки отходов бурения в поглощающий пласт // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2013. №2. С.40-43.

Жариков В.В. Влияние дампинга на геоэкологическое состояние залива Находка // География и природные ресурсы. 2013. №4 С.37-45.

Жариков В.В., Преображенский Б.В., Лебедев А.М. Геоэкологическое состояние полигона дампинга грунта у острова Лисий (залив Находка) // Вестник ДВО РАН. 2011. №2. С.88-97.

Желязко В.И., Лукашевич В.М. Сельскохозяйственные мелиорации: учебно-методическое пособие. Горки : БГСХА, 2020. 250 с.

Жигалин А.Д., Николаев А.В. Чрезвычайные ситуации как отдалённые последствия локальных военных конфликтов // Проблемы снижения природных опасностей и рисков: Материалы Международной научно-практической конференции «Геориск-2012». Т. 2. М.: РУДН, 2012. С. 241-245.

Жуйков А.Ю. Исследование опыта строительства и эксплуатации искусственных рифов // Искусственные рифы для рыбного хозяйства. М.: ВНИРО. 1990. С. 4-26.

Зайдельман Ф.Р. Мелиорация почв: Учебник. М.: Изд-во МГУ, 2003. 448 с.

Зайцев А.А., Кичева К.К. Современное состояние территорий скотомогильников в Пермском крае // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. №4. С.150-153.

Зайцева Н.Г., Терещенко Л.А., Манина Р.А. Трошак Л.А., Колесова О.Г., Лизогубова Р.Н., Святко Е.А., Ляшик Ю.В. Нефтепродуктное загрязнение

подземных вод хозяйственно-питьевого назначения на территории ЮФО // Разведка и охрана недр. 2007. №7. С.53-57.

Закоршменный И.М. Оценка возможности и технологические решения по размещению твердых бытовых отходов в подземном пространстве шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005. №4. С.166-172.

Закоршменный И.М., Антонов В.Б. Принципиальная технологическая схема термохимической переработки некондиционных запасов угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. №3. С.13-15.

Закоршменный И.М., Каркашадзе М.В. Параметры комбинированной технологии подземной газификации и сжигания угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. №6. С.238-244.

Зверев В.П., Костикова И.А. Гидрогеохимические закономерности развития экзогенных геологических процессов европейской части России // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2007. №4. С. 324-336.

Здобин Д.Ю. О классификации грунтов культурного слоя // Российская археология. 2008. №1. С. 48-52.

Зекцер И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды. М.: Научный мир, 2001. 328 с.

Зими́на А.А., Суханов А.М. Опасные геологические процессы на территориях городов // Проблемы и перспективы развития инженерно-строительной науки и образования. Курган: Издательство: Курганск. гос. сельскохозяй. академия им. Т.С. Мальцева (Лесниково), 2018. С. 4-6.

Золотницкий А.П. О влиянии крупномасштабного культивирования мидии (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) на экосистему шельфовой зоны Черного моря // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». 2011. Т.24(63). №4. С.73-82.

Золотницкий А.П., Семик А.М. О величине и скорости аккумуляции балластных веществ на искусственных субстратах в процессе культивирования черноморской мидии (*Mytilus galloprovincialis* Lam.) // Труды Южного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии. 1998. Т.44. С.52-54.

Зотов В.А., Завгородняя Ю.А., Плеханова И.О., Яковлев А.С. Полициклические ароматические углеводороды в конструктороземах,

сформированных на основе осадка сточных вод // Проблемы агрохимии и экологии. 2012 №3. С.39-43.

Зубов А.Р., Ульшин В.А., Зубов А.А., Зубова Л.Г. Моделирование процесса дефляции породы отвалов угольных шахт и техногенное загрязнение почв Донбасса // Агрохімія і ґрунтознавство. 2012. №77. С.52-56.

Зубова Л.Г., Зубов А.Р., Воробьев С.Г., Сиволап С.И., Харламова А.В., Зубов А.А. Оптимизация терриконовых ландшафтов: монография. Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2010. 208 с.

Зубова Л.Г., Зубов А.Р., Зубов А.А., Харламова А.В., Воробьев С.Г., Макаришина Ю.И., Буняченко В.В. Терриконы: монография. Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2015. 712 с.

Ибрагимов Э.В., Кроник Я.А. Оптимизация устройства оснований и фундаментов в криолитозоне (на примере вертикального стального резервуара РВС-20000 м³) // Геотехника. 2018. № 5-6. С. 52-61.

Иванов М.В. Влияние хозяйств промышленного выращивания мидий на естественные экосистемы в условиях Белого моря. Автореф. ... канд. биол. наук. СПб.: ЗИН РАН, 2006. 24 с.

Ивлиева О.В., Фроленко Л.Н. Закономерности распределения техногенных примесей и донных биоценозов в прибрежной зоне море (побережье Таганрогского залива г.Таганрог – коса Кривая) // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2003. №1. С. 87-93.

Ивонин В.М., Егошин А.В. Мелиорация отвалов токсичного грунта // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2014. № 1(13). С.130-146.

Изергин Л.В., Яновский Э.Г. Экологические основы применения искусственных рифов-биофильтров в азовском бассейне // Труды южного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии. 1998. Т.44 С. 134-138.

Изотова А.В., Белозерский Г.Н., Савоненков В.Г., Шабалев С.И. Роль природных и инженерных барьеров при захоронении радиоактивных отходов // Вестник СПбГУ. 2015. Сер. 7. Вып. 4 С.110-123.

Ильин А.В. О геоморфологическом аспекте захоронения радиоактивных отходов на дне океана (ст. 2. основы новой технологии захоронения РАО) // Геоморфология. 2008. №1. С.3-15.

Имбринцев Н.Н., Лапшина Е.А., Лиханский Ю.И. Концепция формирования набережных на основе включения зон переменного уровня // Новые идеи нового века: Мат. междунар. научн. конф. ФАД ТОГУ. Т.2. Хабаровск: Тихоокеанский гос. университет, 2015. С.58-77.

ИТС 46-2019 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов) Утв. Приказом Росстандарта от 17.04.2019 №835). М.: Изд. Бюро НТД, 2019. 321 с.

Кабакова С.И., Перцик Е.Н. Инновационные аспекты развития расселения: формирование городских агломераций и мегаполисов // Инновации и инвестиции. 2012. №1. С.2-6.

Каверина С.А., Климентьев А.И., Ложкин И.В. Геоэкологическая оценка трансформации почвенного покрова Орско-Новотроицкого промузла // Вестник ОГУ. 2007. №3. С.134-142.

Кадников В.В., Марданов А.В., Белецкий А.В., Анциферов Д.В., Ковалева А.А., Карначук О.В., Равин Н.В. Сероокисляющие бактерии доминируют в воде затопленной угольной шахты в Кузбассе // Микробиология. 2019. Т.88. №1. С.123-126.

Казакова Л.Г. Рекультивация территорий несанкционированных свалок урбанизированных зон // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2018. №2(24). С. 30-34.

Казарян В.А. Сильвестров Л.К., Теплов М.К., Хрулев А.С., Погодаев А.В., Юсупов Д.А. Опыт эксплуатации подземного хранилища газового конденсата, созданного в многолетнемерзлых породах // Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ. 2011. № 6. С. 247-258.

Казарян В.А., Хрулев А.С., Савич О.И., Сурин С.Д., Шергин Д.В., Горшков К.Н. Строительство подземных резервуаров в многолетнемерзлых породах для хранения жидких углеводородов и захоронения промышленных отходов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. №6. С. 45.

Каздым А.А. Аутигенные минералы культурного слоя города // Уральский геологический журнал. 2000. №6(18). С.153-157.

Каздым А.А. Техногенные минералы культурных слоев города // Сб. «Минералогия техногенеза 2001». Миасс: ИМин Уро РАН, 2001. С. 40-61.

Каздым А.А. Техногенные отложения и культурный слой – к вопросу о систематике и классификации // Минералогия техногенеза-2007. Миасс. ИМин УрО РАН, 2007. С. 224-254.

Каздым А.А. Техногенные отложения и техногенное минералообразование. М.: РИС ФГУП ВИМС, 2010. 178 с.

Каздым А.А., Верба М.П., Черных Н.А. Микроморфологическая и минералогическая диагностика древних антропогенных отложений (культурного слоя) // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2003. №9. С.122-129.

Кайданова О.В. Геохимия культурных слоев древних городов // Эко-геохимический анализ техногенного загрязнения. М.: ИМГРЭ, 1992. С.126-133.

Калимуллина Д.Д., Багаутдинов И.З. Осуществление обезвоживания осадков сточных вод на иловых площадках // Международный научный журнал «Инновационная наука». 2016. №5. С. 116-118.

Камалов В.Г. Развитие техногенного карста на уфимском «полуострове» (г.Уфа, Республика Башкортостан) // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии, Башкортостана, Урала и сопредельных территорий. 2016. №11. С. 223-225.

Каменецкий И.С. К теории слоя // Статистико-комбинаторные методы в археологии. М.: Наука, 1970. С. 83-94.

Каменецкий И.С. О культурном слое // Культурные слои археологических памятников. Теория, методы и практика исследований. Материалы научной конференции. М.: ИГ РАН; ИА РАН; НИА-Природа, 2006. С.28-33.

Картозия Б.А. Квартира на 102-м этаже под землей // Метро и тоннели. 2020. №2. С.36-39.

Картозия Б.А., Федунец Б.И., Шуплик М.Н., Малышев Ю.Н., Смирнов В.И., Лернер В.Г., Рахманинов Ю.П., Фисейский В.К., Резуненко В.И., Курносов В.И., Панкратенко А.Н., Куликова Е.Ю. Шахтное и подземное строительство: Учеб. для вузов. Т.II. М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. 582 с.

Кауричев И.С., Гречин И.П. Под ред. Почвоведение. М.: Изд-во «Колос», 1969. 543 с.

Кизилова С.А. Предпосылки возведения искусственных островных территорий XXI века // Architecture and Modern Information Technologies.

2018. №1(42). С.187-200. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://marhi.ru/АМИТ/2018/1кварт18/14_kizilova/index.php

Кизильштейн Л.Я., Дубов И.В., Шпицглюз А.Л., Парада С.Г. Компоненты зол и шлаков ТЭС М.: Энергоатомиздат, 1995. 176 с.

Кирюхина Н.Н., Шахиджанов Ю.С. Разрушение геологической среды и ее радиационное загрязнение в результате ядерных испытаний в недра // Разведка и охрана недр. 2005. №2-3. С. 46-53.

Киселев А.А., Решетников А.И. Метан в российской Арктике: результаты наблюдений и расчетов // Проблемы Арктики и Антарктики, 2013, №2(96). С.5-15.

Киселев В.В., Бурцев И.С. Ликвидация последствий аварийных подземных ядерных взрывов в зоне многолетней мерзлоты. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1999. 148 с.

Киселев В.В., Хохолов Ю.А., Каймонов М.В. Совершенствование технологии сооружения курганных могильников твердых радиоактивных отходов в криолитозоне // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. №9. С. 207-210.

Киселев В.В., Хохолов Ю.А., Каймонов М.В. Возведение защитных саркофагов полуглубленных могильников твердых радиоактивных отходов в криолитозоне // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2010. №3. С.255-260.

Клюйков Е.Ю. Инженерная океанология. Учебное пособие. СПб.: Изд. РГГМУ, 1999. 294 с.

Ковалева Г.В., Старожилов В.Т., Дербенцева А.М., Назаркина А.В., Майорова Л.П., Матвеевко Т.И., Семаль В.А., Морозова Г.Ю. Почвы и техногенные поверхностные образования в городских ландшафтах: монография. Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2012. 159 с.

Ковальчук Н.А. Сибирязвенные скотомогильники: актуальные проблемы // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2019. Т.1 №S1. С.214-216.

Ковлеков И.И. Извлечение золота из техногенных россыпей Якутии // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. №10. С.231-232.

Ковлеков И.И. Техногенное золото Якутии. М.: изд-во МГГУ, 2002. 303 с.

Ковриго В.П., Кауричев И.С., Буракова Л.М. Почвоведение с основами геологии. М.: Колос, 2000. 416 с.

Кокорин А.О. Изменение климата: обзор Пятого оценочного доклада МГЭИК. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2014. 80 с.

Комарова Н.Г. Опасные природные и техноприродные экзогенные процессы на урбанизированных территориях России // Климат и природа. 2015. №1(14). С.20-27.

Кондырев Б.И., Белов А.В. Опыт подземной газификации угля в Китайской Народной Республике // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005. №10. С. 286-289.

Конкина Т.Ю., Дулин А.Ф. Флора городских зданий и сооружений // Биоразнообразие и проблемы экологии Приамурья и сопредельных территорий. Мат. 2-й региональной научн. конф. Хабаровск: Изд-во: Тихоокеанский гос. университет, 2016. С.23-27.

Кононенко Ю.В. Влияние геоморфлогических процессов на техногенный рельеф // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. №9. С.95-97.

Кононова Р.С. Неизвестнов Я.В., Толстихин Н.И., Толстихин О.Н. Криопэги – отрицательно-температурные воды Земли // Мерзлотные исследования. М.: Изд-во МГУ, 1971. Вып. XI. С. 75-88.

Конторович А.Э., Эпов М.И., Эдер Л.В. Долгосрочные и среднесрочные факторы и сценарии развития глобальной энергетической системы в XXI веке // Геология и геофизика. 2014. Т.55. №5-6 С.689-700.

Конюхов Д.С. Основные принципы комплексного освоения подземного пространства при реновации жилой застройки Москвы// Метро и тоннели. 2019а. №2. С.38-41.

Конюхов Д.С. Технологическая безопасность подземного строительства в условиях плотной городской застройки // Метро и тоннели. 2019б. №1. С.26-29.

Корзникова М.В., Козлов Ю.П. Использование технологии анаэробного сбраживания в целях минимизации загрязнения окружающей среды отходами животноводства и птицеводства // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2006. №1(13). С.178-184.

Корнеев О.Ю., Рыбалко А.Е., Федорова Н.К. Геоэкологические аспекты дреджинга в Финском заливе // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2014. №35. С.119-123.

Коробов Д.С., Борисов А.В. Предпосылки, цели и задачи Междисциплинарной научной конференции «Археология и естественные науки в изучении культурного слоя объектов археологического наследия» (вместо предисловия) // Материалы междисциплинарной научной конференции «Археология и естественные науки в изучении культурного слоя объектов археологического наследия». М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. С.3-6.

Коровин Е.С. Некоторые аспекты международно-правового статуса затонувших объектов, находящихся в собственности государства // Colloquium-Journal. 2020. №1-12(54). С.26-28.

Королев В.А. Мониторинг геологической среды. М.: Изд-во МГУ, 1995. 272 с.

Корчагина Т.В., Ефимова Н.В., Жабин А.Б., Ишутина С.А. Исследование эмиссии угольного метана на поверхность из ликвидируемых шахт // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2017. Вып. 4. С.48-60.

Корытова И.В., Пантелеев В.Г., Фролов А.Н. Применение способа гидромеханизации для создания на шельфе искусственных островов // Известия Всероссийск. НИИ гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2015. Т.277. С.11-19.

Космин В.В. Сеть метрополитена в КНР // Метро и тоннели. 2019. №1. С.42-43.

Космин В.В., Меркин В.Е. Китайский опыт строительства сверхдлинных и сверхглубоких горных тоннелей: проблемы и перспективы развития // Метро и тоннели. 2020. №4. С.37-40.

Костарев А.П., Митишова Н.А. Повышение эффективности мер предупреждения прорывов воды на угольных шахтах // Безопасность труда в промышленности. 2000. №1. С.35-38.

Косыгин Ю.А., Кулындышев В.А., Соловьев В.А. Под ред. Формы геологических тел (терминологический справочник). М.: «Недра», 1977, 246 с.

Котенок О.В., Оганов А.С. Обеспечение экологической безопасности при освоении морских нефтегазовых месторождений // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2007. №1. С. 36-39.

Котлов Ф.В. Антропогенный литогенез // Генетические основы инженерно-геологического изучения горных пород. М.: Изд-во МГУ, 1975. С.49-60.

Котлов Ф.В. Антропогенные геологические процессы и явления на территории города. М., «Наука», 1977. 171 с.

Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М. Недра. 1978. 263 с.

Кочиков В.Н. Океанологическое обеспечение морских хозяйств по выращиванию беспозвоночных. Обзорная информация ЦНИИТЭИРХ. Сер. 1. М.: ЦНИИТЭИРХ, 1979. С.1-56.

Кочкин Б.Т. Принцип консерватизма в оценке безопасности могильников высокоактивных отходов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2012 № 5 С.436-448.

Красноперова С.А. К проблеме гидрогеологической защищенности подземной гидросферы от нефтяного загрязнения // Управление техносферой: электрон. журнал. 2018. Т.1. Вып. 2. С. 185-193. URL: <http://f-ing.udsu.ru/technosphere>

Крейнин Е.В. Нетрадиционные термические технологии добычи трудноизвлекаемых топлив: уголь, углеводородное сырье: Монография. М.: ИРЦ Газпром, 2004. 301 с.

Крейнин Е.В. Подземная газификация угля как экологически чистая технология его добычи и использования // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. №4. С. 256-262.

Крейнин Е.В., Дворникова Е.В. Загрязняются ли подземные воды при газификации угольных пластов? // Уголь.1993. №4. С.39-40.

Крейнин Е.В., Стрельцов С.Г., Сушенцова Б.Ю. Анализ и перспективы современных проектов подземной газификации углей в мире // Уголь. 2011. №1. С.40-43.

Крейнин Е.В., Федоров Н.А., Звягинцев К.Н., Пьянова Т.М. Подземная газификация угольных пластов. М.: Недра, 1982. 150 с.

Кременецкий А.А., Алексеева А.К., Горбачев В.И. Национальная стратегия изучения глубинных зон континентальной коры по данным научного глубокого и сверхглубокого бурения // Разведка и охрана недр. 2006. №9-10. С. 102-109.

Крестин Б.М., Мальнева И.В., Дьяконова В.И., Кононова Н.К. Экзогенные геологические процессы как причина природных катастроф и тенденции их развития в XXI веке // Разведка и охрана недр. 2009. №9. С.24-27.

Криворотько М.О., Подгорная Т.И. Анализ техногенных воздействий на природную среду в прибрежной зоне г.Кобе // Новые идеи нового века – 2015. Мат. Пятнадцатой междунар. научн. конф. Том 2. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. С.105-112.

Кроник Я.А. Анализ аварийности и безопасности геотехнических систем в криолитозоне // Материалы V конференции геокриологов России. МГУ им. М. В. Ломоносова. Т.1. М.: Университетская книга, 2016. С. 104-113

Круподеров В.С., Крестин Б.М., Мальнева И.В., Дьяконова В.И., Кононова Н.К. Оценка активности проявления опасных экзогенных геологических процессов на территории России в ближайшем десятилетии // Разведка и охрана недр. 2007. №5. С.8-15.

Крылов Д.А., Овсейчук В.А., Сидорова Г.П. Радиоактивность углей // Энергия: экономика, техника, экология. 2015. №5. С. 2-11.

Кузнецов В.А., Жуховицкая А.Л., Курзо Б.В., Власов Б.П. Геохимия озерного седиментогенеза в условиях техногенного влияния // Литасфера. 1996. №5. С.161-171.

Кузнецова И.Н. Вертикальная планировка городских территорий. Омск: СибАДИ, 2011. 98 с.

Кузубова Л.И., Шуваева О.В., Аношин Г.Н. Метилртуть в окружающей среде (распространение, образование в природе, методы определения). Аналитический обзор // Экология. серия аналитических обзоров мировой литературы. Серия Экология. Вып. 59. Новосибирск: Изд-во: Гос. публ. научно-технич. библиотека СО РАН (Новосибирск), 2000. 82 с.

Кузьминов В.А., Смага Г.А., Савватеева О.А., Каплина С.П. Современное состояние и перспективы энергетического использования свалочного газа // Технология нефти и газа. 2011. №1(72). С.29-33.

Кулик К.Н., Кретинин В.М., Кошелева О.Ю. Опыт картографирования почвенного покрова города Волгограда // Вестник ВГУ, Серия: География. Геоэкология. 2015. №1. С.40-45.

Куликова А.Х., Никифоров Е.А., Елагин В.П., Яшин Е.А. Влияние диатомита на урожайность и качество овощной продукции // Агрехимия. 2004. №2. С. 52-58.

Кун Т. Структура научных революций. М.: Изд-во АСТ, 2015. 320 с.

Курачев В.М., Андроханов В.А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. 2002. №3. С.255-261.

Куриленко В.В., Хайкович И.М. Структура экологической геологии и её взаимосвязь с естественными науками // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2012. Вып. 4. С. 65-78.

Курочкина В.А., Богомолова Т.Г., Киров Б.Л. Антропогенная нагрузка на реки урбанизированных территорий // Вестник МГСУ. 2016. № 8. С. 100-109.

Кутепов В.М., Максимов М.М., Анисимова Н.Г. Характеристика карстового процесса // В кн.: Экзогенные геологические опасности. Тематический том / Природные опасности России. Монография в 6 томах. М.: Издательская фирма «КРУК», 2002а. С. 135-136.

Кутепов В.М., Максимов М.М., Анисимова Н.Г. Типизация карстового процесса // В кн.: Экзогенные геологические опасности. Тематический том / Природные опасности России. Монография в 6 томах. М.: Издательская фирма «КРУК», 2002б. С. 136-139.

Кухарев Н.Н., Гришин Ю.С. Антропогенные морские наносы // Труды ЮгНИРО. 2009. Т.47. С. 36-54.

Кучуков Э.З., Филькин Н.А., Воронин А.М. Влияние инженерно-геологических и техногенных процессов на городское строительство и хозяйство // В сб. Инновации в отраслях народного хозяйства, как фактор решения социально-экономических проблем современности М: Изд-во: Негосударственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Институт непрерывного образования", 2011. С. 59-62.

Кучуков Э.З., Филькин Н.А., Лаухин С.А. К оценке опасности геологических, инженерно-геологических и техногенных процессов при проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений на урбанизированной территории // В сборнике: Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи М.: Издательство: Российский университет дружбы народов, 2016. С. 310-314.

Кучумова А.Ю., Жамбалова Д.И., Борхонова Е.В. Взаимодействие поверхностных и подземных вод в зоне влияния Улан-Удэнского промышленного узла // Вестник Бурятского государственного университета. 2012. Вып.4: Биология. География. С.49-56.

Кюль Е.В., Борисова Н.А. Активизация опасных природных процессов в природно-техногенных геосистемах (на примере Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината, г.Тырныауз, Кабардино-

Балкарская республика) // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Бассейн реки Терек: проблемы регулирования, восстановления и реабилитации водных объектов». Махачкала: Западно-Каспийское БВУ; Пятигорск: ОАО "Севкавгипроводхоз", 2015. С.201-206.

Лаврусевич А.А. Основные черты техногенеза // Вестник МГСУ. 2010. №4. С.175-181.

Лаврусевич А.А., Макеева Т.Г. Хоменко В.П., Кропоткин М.П., Криночкина О.К., Кучуков Э.З., Курочкина В.А. Геоэкология: Учебное пособие. М.: Изд-во АСВ, 2020. 150 с.

Лаврусевич А.А., Хоменко В.П., Лаврусевич И.А. Проблемы строительного освоения пораженных псевдокарстом лёссовых массивов // Промышленное и гражданское строительство. 2012. №11. С.11-23.

Лаврусевич И.А., Хоменко В.П., Лаврусевич А.А. Недооценка суффозионной опасности при строительстве плоскостных бетонных сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2015. №11. С.21-24.

Лазаренко С.Н., Кравцов П.В. Новый этап развития подземной газификации угля в России и в мире // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. №1. С.304-310.

Ланге О.К., Толстихин Н.И. О температурной классификации вод // Бюлл. МОИП. Отд. Геол. 1973. Т.XLVIII(2). С.120-123.

Лаппо Г.М. География городов. М.: ВЛАДОС, 1997. 480 с.

Лаппо Г.М. Города России. Взгляд географа. М.: Новый хронограф, 2012. 504 с.

Лебедев В.В., Стефановский С.В. Применение технологии ИПХТ для переработки радиоактивных отходов: опыт МосНПО "Радон" // Вопросы радиационной безопасности. 2011. №2. С.16-34.

Лебедев В.С., Иванов Д.В., Телешева С.Ю., Соловьев А.В. Интенсивность образования биогаза в захороненных твердых бытовых отходах и осадках сточных вод // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 2008. №4. С.150-158.

Лебедева Е.Ю., Сергеев А.Ю. Земледельческая продукция в средневековой Москве (по материалам археологических раскопок на территории Московского Кремля в 2016-2018 гг.) // КСИА. 2019. Вып. 257. С.374-392.

Лебедева И.И., Тонконогов В.Д., Герасимова М.И. Новая классификация почв России: предварительные итоги обсуждения // Почвоведение. 2008. №1. С.102-109.

Леггет Р. Города и геология. М.: Изд-во «Мир», 1976. 560 с.

Леонтович В.В. Вертикальная планировка городских территорий. М.: Высшая школа, 1985. 119 с

Леонтьев А.Е. Стратиграфия и хронология культурного слоя Ростова Великого // Археологические памятники Европейской части РСФСР. М.: Изд-во ИА АН СССР, 1985. С. 105-112.

Леонтьев И.О. Искусственный пляж как средство защиты берегов от штормовых нагонов (восточная часть финского залива) // Океанология 2019. Т.59. №2. С.292-301.

Лимонад М.Ю., Цыганов А.И. Живые поля архитектуры: Учебное пособие. Обнинск: Изд-во «Титул», 1997. 208 с.

Литвин Т.А. Перспективы разрешения проблемы с затонувшими судами // Естественно-гуманитарные исследования. 2018. №20(2). С.50-54.

Литвинович А.В. История известкования почв // Агрофизика. 2014. №2(14). С.45-51.

Лихачева Э.А., Некрасова Л.А. Городская среда: экологические проблемы и управление природно-антропогенной системой (с позиций экологической геоморфологии) // Известия РАН. Серия географическая. 2020. Т.84. №4. С.577-587.

Лобода Б.П., Яковлева Н.Н. Диатомиты и трепелы как почвоулучшители и источники биогенных элементов // Плодородие. 2003. №5. С.11-14.

Логунова Е.В., Шелепин Ю.Е., Шабалина Н.А., Бритиков А.А., Пронин С.В. Изучение экологической безопасности визуальной среды // Биотехносфера. 2014. № 1-2(31-32). С.36-41.

Лобчук О.И., Килесо А.В. Пространственное распределение и источники антропогенного морского мусора на побережье Калининградской области // Гидрометеорология и экология. 2020. №61. С.521-533.

Ловчиков А.В. Сильнейшие горно-тектонические удары и техногенные землетрясения на рудниках России // ФТПРПИ. 2013. №4. С. 68-73.

Логгинов Б.И. Возможности озеленения терриконов Донбасса // Растения и промышленная среда. Киев: Наук. думка, 1971. С.124-129.

Ломакин П.Д. Влияние дноуглубительных работ и грунтовых свалок на экологическую ситуацию в Керченском проливе // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т.35. №2. С. 160-170.

Ломакин П.Д., Спиридонова Е.О. Динамика отложений в Керченском проливе до и после строительства Тузлинской дамбы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2008. №17. С.215-224.

Лопата Ф.Ф. Ветеринарно-санитарная оценка органических отходов животноводства // Аграрный вестник Урала. 2008. №2(44). С.72-75.

Лукманов А.А., Маликов А.В. Использование местных агроруд для снижения поступления токсикантов в растительную продукцию // Вестник НЦ БЖД. 2014 №1(19). С.102-107.

Майсс А.А., Блиновская Я.Ю., Высоцкая М.В. Потерянные орудия лова: оценка, экологические последствия и пути решения // Успехи современного естествознания. 2018. № 11. С. 185-190.

Макаров А.Б. Техногенные месторождения минерального сырья // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т.6. №8. С. 76-80.

Макаров А.Б., Талалай А.Г., Хасанова Г.Г. Геолого-промышленные типы техногенных месторождений // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2018. №8. С. 80-85.

Макаров Н.А., Шполянский С.В., Долгих А.В., Алешинская А.С., Лебедева Е.Ю. Собор на пашне: культурный слой и пахотный горизонт под церковью Бориса и Глеба в Кидекше // Российская археология. 2014. №3. С.50-65.

Маковский Л.В. Городские подземные транспортные сооружения. М.: Стройиздат, 1985. 439 с.

Максимович Н.Г., Меньшикова Е.А., Блинов С.М. Некоторые техногенные минералы Уральского региона // Минералогия техногенеза. 2000. Т.1. С.62-67.

Максимович Н.Г., Хайрулина Е.А. Геохимические барьеры и охрана окружающей среды: учеб. пособие. Пермь: Перм. гос. ун-т., 2011. 248 с.

Максимович Н.Г., Хайрулина Е.А. Геохимические методы в решении проблем охраны окружающей среды // Географический вестник. 2013. №4(27). С. 59-64.

Максимович Н.Г., Черемных Н.В., Хайрулина Е.А. Экологические последствия ликвидации Кизеловского угольного бассейна // Географический вестник. 2006. № 2(4). С. 128-134.

Мальковский В.И., Пэк А.А., Кочкин Б.Т., Озерский А.Ю. Оценка потенциального загрязнения геологической среды при подземном захоронении радиоактивных отходов на участке “Енисейский” Нижнеканского массива (Красноярский край) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2013 №6. С.483-490.

Мальцева М.В., Грибанова Л.П., Зубкова Е.А., Сондык А.О. Экологические проблемы полигонов ТБО // Твердые бытовые отходы. 2011. №9. С.10-15.

Мальчик А.Г., Литовкин С.В. Изучение золошлаковых отходов для их использования в качестве вторичных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 9. С.23-27.

Мартынюк Т.Ю. Флора городских зданий и сооружений г.Владивостока // Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии. сборник статей XXI Международной научно-практической конференции. Пенза: Изд-во Пензенский гос. аграрный университет, 2019. С.73-76.

Матусевич В.М., Ковяткина Л.А. Техногенное поле и его взаимодействие с физическими полями Земли // Фундаментальные исследования. 2013. №6. С.402-406.

Матюшин Г.Н. Археологический словарь. М.: Просвещение, АО «Учебная литература», 1996. 303 с.

Мачкевский В.К., Гаевская А.В. Формирование паразитарных систем в условиях сукцессии сообщества искусственного рифа // Экология моря. 2000. Вып. 50. С. 66-70.

Мелентьев Г.Б. Инновационный потенциал техногенных ресурсов России и роль технологической геохимии в их изучении и оценке перспектив комплексного промышленного использования // Технологическая минералогия природных и техногенных месторождений. Сборник статей IX семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С.8-30.

Мельников В.П., Скворцов А.Г., Малкова Г.В., Дроздов Д.С., Пономарева О.Е., Садуртдинов М.Р., Царев А.М., Дубровин В.А. Результаты изучения геокриологических условий арктических территорий с помощью сейсмических методов // Геология и геофизика. 2010. Т.51. №1. С.171-180.

Мельников И.Т., Кутлубаев И.М., Голяк С.А., Суров А.И., Мельников И.И., Васильев К.П. Совершенствование технологии формирования намывных хвостохранилищ // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2012. №2. С. 11-15.

Мельников Н.Н. Искусственный земельный участок: поиск универсального определения // Журнал российского права. 2011. № 5. С.24-30.

Мельников Н.Н., Калашник А.И. Геодинамические аспекты освоения шельфовых нефтегазовых месторождений (на примере Баренцрегиона) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2010. №4. С. 291-302.

Мельников Н.Н., Калашник А.И., Калашник Н.А. Техногенные геодинамические процессы при освоении нефтегазовых месторождений шельфа Баренцева моря // Вестник МГТУ, 2009. Т.12, №4, с.601-608.

Мельников Н.Н., Козырев А.А., Панин В.И. Техногенная сейсмичность – опасный антропогенный фактор при ведении горных работ в высоконапряженных массивах// Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2015. № 5. С.425-433.

Мельников Н.Н., Конухин В.П., Наумов В.А., Амосов П.В., Гусак С.А., Наумов А.В. Вопросы безопасности подземного регионального могильника радиоактивных отходов на Кольском полуострове // Вестник МГТУ. 2006. Т.9. №3. С.418-428

Менделеев Д.И. Будущая сила, покоящаяся на берегах Донца // Северный вестник. 1888. № 8-12. 145 с.

Метечко Л.Б., Сорокин А.Е., Тихонов А.И., Новиков С.В. Внедрение эколого-компенсационных систем по снижению антропогенных загрязнений прибрежных акваторий // Вестник ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2017. №1. С.265-288.

Милетенко Н.А., Рульков Н.С. Классификация видов негативного влияния, причиняемого недрам при освоении георесурсов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. №11. С. 107-113.

Миндубаев А.З., Яхваров Д.Г. Взгляд на проблему. Являются ли ксенобиотики ксенобиотиками? // Бутлеровские сообщения. 2013. Т.34. №4. С.1-20.

Мирасланов М.М., Мавлянова Н.Г. Изменение геологической среды в Центрально-Кызылкумском горнопромышленном районе // Сергеевские чтения. Геоэкологическая безопасность. Разработки месторождений

полезных ископаемых. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии в рамках Года экологии в России. Научный совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М.: Изд-во РУДН, 2017. С. 62-67.

Мирзеханов Г.С. Оценочные критерии ресурсного потенциала техногенных образований россыпных месторождений золота Дальнего Востока России // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. 2014. №1. Вып. №23. С.139-150.

Мирзоев К.М., Николаев А.В., Лукк А.А., Юнга С.Л. Способ снятия упругой энергии для предотвращения землетрясений // В сборнике: Триггерные эффекты в геосистемах Материалы Всероссийского семинар-совещания. 2010. С. 87-96.

Миронов В.В. Вопросы защиты окружающей среды от загрязнения отходами животноводства и птицеводства // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. №5(20). С.56-59.

Митишова Н.А., Милетенко Н.А. Негативное техногенное воздействие на недра при добыче полезных ископаемых // Вестник современной науки. 2015. №7. С.117-121.

Мишуков В.Ф., Калинин В.В., Плотников В.В., Войцыцкий А.В. Влияние дампинга загрязненных грунтов на экологическое состояние прибрежных вод г.Владивосток // Известия ТИНРО. 2009. Т.159. С.243-256.

Можжерин А.В., Коржавин А.Ю. Керамический пропант или песок? // Сфера. Нефть и газ. 2018. №2(64). С.20-23.

Моисеенко Т.И. Эволюция биогеохимических циклов в современных условиях антропогенных нагрузок: пределы воздействий // Геохимия. 2017. №10. С.841-862.

Мокроусов С.Н., Дадонов Ю.А., Шестаков А.А., Гиричев Ю.К., Исаева Н.Ф. Инструкция о порядке ликвидации, консервации скважин и оборудования их устьев и стволов (РД 08-492-02). Документы по безопасности, надзорной и разрешительной деятельности в нефтяной и газовой промышленности. Серия 08. Выпуск 8. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2010. 32 с.

Морариу Д., Аверьянова О.Ю. Некоторые аспекты нефтеносности сланцев: понятийная база, возможности оценки и поиск технологий извлечения нефти // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2013. Т.8. №1. 22 с. http://www.ngtp.ru/rub/9/3_2013.pdf

Московченко Д.В. Нефтегазодобыча и окружающая среда. Эколого-геохимический анализ Тюменской Области. Новосибирск: Изд-во Наука, 1998. 110 с.

Мотычко В.В., Опекунов А.Ю., Константинов В.М., Андрианова Л.Ф. Основные черты морфолитогенеза в северной части Обской губы // Вестн. Санкт-Петерб. ун-та. Сер.7. 2011. Вып.1. С.67-80.

Мотычко В.В., Опекунов А.Ю., Константинов В.М., Соколов Г.Н. Морфолитогенез и состав донных осадков Байдаракской губы // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2013. Вып. 1. С.65-77.

Мохов А.В. О водопроницаемости барьерных целиков затопленных угольных шахт // Известия вузов. Северо-Кавказский регион естественные науки. Приложение. 2006. №5. С. 77-81.

Мохов А.В. О растекании шахтных вод из затопленных угольных шахт в недрах // Доклады академии наук. 2011. Т.438. № 4. С.494-496.

Мохов А.В. Гидродинамическая эволюция пустотного пространства каменноугольных шахт под влиянием затопления // Вестник Южного научного центра РАН. 2012. Т.8. №3. С.42-49.

Мохонько В.И. Оценка влияния техногенных факторов на активизацию мело-мергельного карстогенеза // Первый независимый научный вестник. 2015. №1. С.52-57.

Мурашко Л.И. Историческая геология. Минск: БГУ, 2012. 147 с.

Мурашов В.Е. Захоронение отходов мегаполисов // Твердые бытовые отходы. 2007. №11. С. 28-30.

Мусин Р.Х., Галиева А.Р. Буферные свойства геологической среды и рациональное природопользование (на примере Нижнекамской промзоны Республики Татарстан) // Сергеевские чтения. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Пермь: Изд-во «Пермск. гос. национальный ун-т, 2019. С.344-348.

Мухамедиев Ш.А. Предотвращение сильных землетрясений: реальная цель или утопия? // Физика земли. 2010. №11. С. 49-60.

Мушкетов Д., Штини И. Техническая геология. Ленинград-Москва-Новосибирск: Государственное научно-техническое горно-геолого-нефтяное издательство, 1934. 416 с.

- Нагорный В.П., Глоба В.М. Подземные хранилища углеводородов. Киев: Институт геофизики им. С.И. Субботина, 2014. 287 с.
- Найдин Д.П., Похиалайнен В.П., Кац Ю.И., Красилов В.А. Меловой период. Палеогеография и палеоокеанология. М.: Наука, 1986. 262 с.
- Неволин Н.В., Лыхин П.А., Горшков В.А., Грищенко Г.Т. Экологическая ситуация в Кизелковском бассейне после ликвидации угольных шахт // Известия вузов. Горный журнал. 2008. №5. С.32-37.
- Немчинова Н.В., Шумилова Л.В., Салхофер С.П., Размахнин К.К., Чернова О.А. Комплексное устойчивое управление отходами. Metallургическая промышленность: учебное пособие. М.: Изд-во: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. 494 с.
- Нескоромных В.В. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин : учеб. Пособие. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. 322 с.
- Несмеянов С.А., Воейкова О.А. Техногенная формация – характерный признак техногенного этапа истории Земли // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2020, №1. С.18-21.
- Несмеянов С.А., Воейкова О.А., Каздым А.А., Макаров В.И. Техногенные образования как геологическая формация // Геоэкология. 2009. №5. С. 387-398.
- Никитин А.А., Хмелевской В.К. Комплексование геофизических методов: учебник для вузов. М. : ВНИИГеосистем, 2012. 346 с.
- Никитина Н.П., Мезенцева А.П. Геотермальные ресурсы как альтернативная энергетика // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. Пенза: Изд-во Наука и просвещение, 2017. С.48-51.
- Николаев А.В. Проблемы наведенной сейсмичности. // В сб.: «Наведенная сейсмичность». М., Наука, 1994, с. 5-15.
- Николаев А.В. О возможности искусственной разрядки тектонических напряжений с помощью сейсмических и электрических воздействий // Двойные технологии 1999. №2. С. 6-10.
- Николаев А.В., Жигалин А.Д. Геоэкологические аспекты военной деятельности // Геоэкология. 2003. № 1. С. 23-31.
- Николаев Н.И. О состоянии изучения проблемы возбужденных землетрясений, связанных с инженерной деятельностью // Влияние

инженерной деятельности на сейсмический режим. М.: Наука, 1977. С. 8-21.

Николаев Ю.П. Влияние подземных емкостей, созданных ядерными взрывами, на инженерно-геологические и экологические условия окружающей среды // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2006. №4. С.69-72.

Николаева С.К., Огородникова Е.Н., Андреева Т.В. Массивы намывных грунтов – источник техногенных опасностей // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2012. № 3. С.256-262.

Никонов А.А. Человек воздействует на земную кору. М.: Знание, 1980, 48 с.

Нифантов Б.Ф., Потапов В.П., Анфёров Б.А., Кузнецова Л.В. Угли Кузбасса: химические элементы-примеси и технологии их извлечения при комплексном освоении месторождений. Кемерово: ИУ СО РАН, 2011. 310 с.

Новиков Э.А. Человек и литосфера. Л.: Недра, 1976. 160 с.

Новикова О.К. Обработка осадков сточных вод: учеб.-метод. пособие. Гомель: БелГУТ, 2015. 96 с.

Носков А.С., Савинкина М.А., Анищенко Л.Я. Воздействие ТЭС на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба (Технол. аспекты): Аналит. Обзор. Новосибирск: ГПНТБ, 1990. 184 с.

Нургалиев А.А., Яруллин Э.Г. Организация использования попутно-добываемых вод при разработке месторождений СВН [Электронный ресурс] // Промышленная и экологическая безопасность, охрана труда. 2016. №5 (112). С. 46-47. Режим доступа: <https://rucont.ru/efd/399662>

Обращение с радиоактивными отходами перед захоронением // Бюллетень МАГАТЭ. 2014. Т.55. №3. С.10-11.

Обухов А.И., Плеханова И.С., Кутукова Ю.Д., Афонина Е.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях Москвы // Экологические исследования в Москве и Московской области. - М.: Изд-во МГУ, 1990. С. 148-162.

Овцов Л.П., Элик Э.Е. Использование сточных вод в орошаемом земледелии // Мелиорация и водное хозяйство. 1988. №6. С.30-31.

Огородникова Е.Н., Николаева С.К. Техногенные грунты. М.: Изд-во МГУ, 2004. 249 с.

Одум Е. Экология М.: Просвещение, 1968. 168 с.

Олейник С.П. Единая система переработки строительных материалов. М.: СвР-АРГУС, 2006. 336 с.

Опекунов А.Ю. Влияние техногенного воздействия на геохимическую структуру современных донных осадков // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2004. Вып. 2. С.70-80.

Опекунов А.Ю. Аквальный техноседиментогенез // Тр. ВНИИОкеагеологии Министерства природных ресурсов РФ. Т.208. СПб: Наука, 2005. 278 с.

Опекунов А.Ю., Митрофанова Е.С., Опекунова М.Г. Техногенная трансформация состава донных отложений рек и каналов Санкт-Петербурга // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2017. №4. С.48-61.

Осипов В.И. Геоэкология – междисциплинарная наука об экологических проблемах геосфер // Геоэкология. 1993. №1. С. 4-18.

Осипов В.И. Разжижение пород // В кн.: Экзогенные геологические опасности. Тематический том / Природные опасности России. Монография в 6 томах. М.: Издательская фирма «КРУК», 2002. С. 174-193.

Осипов В.И. Техногенез и современные задачи наук о Земле // Вестник российской академии наук. 2016. Т.86. № 8. С.675-684.

Осипов В.И., Барях А.А., Сапфиров И.А., Мамаев Ю.А., Ястребов А.А. Гидрогеомеханические условия формирования карстовых провалов на территории калийных рудников в г. Березники Пермского края // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2016. №2. С.142-148.

Осипов В.И., Еремина О.Н., Козлякова И.В. Оценка экзогенных опасностей и геологического риска на урбанизированных территориях (обзор зарубежного опыта) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2017. №3. С. 3-15.

Осипов В.И., Кутепов В.М., Анисимова Н.Г., Кожевникова И.А., Козлякова И.В. Районирование геологической среды города Москвы для целей строительства объектов с заглублёнными основаниями // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2011. №3. С.227-237.

Палиенко Э.Т. Поисковая и инженерная геоморфология. Киев: Вища школа, 1978. 198 с.

Панова И.А., Русанов И.И., Кадников В.В., Латыголец Е.А., Авакян М.Р., Иванов М.В., Зюсман В.С., Ковалева А.А., Равин Н.В., Пименов Н.В., Карначук О.В. Сульфатредукция в подземных горизонтах затопленной угольной шахты в Кузбассе // Микробиология. 2020. Т.89. №5. С.547-555.

Пасечник И.П. Землетрясения, инициированные подземными ядерными взрывами // В сб.: Влияние инженерной деятельности на сейсмический режим. М.: Наука, 1977. С. 142-152.

Пашкин Е.М. Инженерно-геологическая диагностика памятников архитектуры. М.: Высш. школа, 1998. 255 с.

Пашкин Е.М., Панкратов А.В., Кувшинников В.М., Бондарев М.В., Ануфриев А.А. Особенности эволюционных изменений контакта фундамент-грунт церкви Вознесения в Коломенском // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2003. 4. С. 328-334.

Перельман А.И. Биокосные системы Земли. М.: Наука, 1977. 162 с.

Перельман А.И. Геохимия. М.: Изд-во «Высшая школа», 1979. 423 с.

Пестряков В.К., Шевелев Я.З. Земледельческие поля орошения. Л.: Лениздат, 1981. 112 с.

Петина М.А., Лебедева М.Г., Петина В.И., Толстопятов О.С. Влияние водной и ветровой эрозии на устойчивость техногенных ландшафтов в районе КМА // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Естественные науки. 2016. № 25(246). Вып. 37. С.114-119.

Петренко О.А., Себах Л.К., Панкратова Т.М. Антропогенные изменения морской среды под воздействием дампинга грунтов дноуглубления в Керченской предривной зоне черного моря // Труды южного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ЮгНИРО). 1998. Т.44. С.83-88.

Петров Г.В., Бодуэн А.Я., Мардарь И.И. Ресурсы благородных металлов в техногенных объектах горно-металлургического комплекса России // Успехи современного естествознания. 2013. №3. С.145-148.

Петрова А.В., Кузнецова Ю.Н. Искусственные биогеохимические провинции, причины и опасности их возникновения // Избранные доклады 62-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. Секция 6: Техносферная безопасность. Томск: Изд-во Томск. гос. архитектурно-строительного ун-та, 2016. С.369-371.

- Петровский Э.А., Соловьев Е.А., Коленчуков О.А. Современные технологии переработки нефтешламов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №4. С. 124-132.
- Пешков В.М. Галечные пляжи неприливых морей. Краснодар: Эд Арт Принт, 2005. 444 с.
- Пешков В.М. Современное состояние и перспективы развития Азово-Черноморского побережья России // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2008. №5 С. 26-36.
- Пинаев В.Е., Чернышев Д.А. Ликвидация накопленного экологического ущерба – организационные и правовые аспекты. Монография. М.: Мир науки, 2017. 136 с.
- Пивоваров Ю.П., Михалев В.П. Радиационная экология. М.: Изд. центр «Академия». 2004. 240 с.
- Плющ Л.В. Снижение техногенной нагрузки в районах складирования и захоронения отходов добычи и переработки минерального сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2006. №10. С. 186-192.
- Подтуркин Ю.А., Коткин В.А., Муслимов Р.Х., Салиева Р.Н. Правовое регулирование хозяйственной деятельности по разработке техногенных месторождений // Недропользование–XXI век. 2009. №6. С.15-20.
- Поляков В.И. Экология и геология учат обращению с радиоактивными отходами // Современные наукоемкие технологии. 2005. №2. С.23-26.
- Полянская Л.М., Головченко А.В., Звягинцев Д.Г. Микробная биомасса в почвах // Доклады Академии Наук. 1995. Т. 344. № 6. С.846-848.
- Пономарев А.Б., Винников Ю.Л. Подземное строительство: учеб. пособие. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. Ун-та, 2014. 262 с.
- Попов В.К., Серяков С.В. Техногенное подтопление как фактор, влияющий на стабильное функционирование городов // Вестник ТГАСУ. 2006. №2. С.131-137.
- Порошина С.С. Растепление вечномерзлых грунтов под зданиями в Норильске // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8. № 2. С. 65-70
- Потапов С.С. Обзор направлений и результатов исследований группы минералогии техногенеза Института минералогии УРО РАН Минералогия техногенеза. 2016. Т.17. С. 17-28

Потапов С.С., Максимович Н.Г. К минералогии горелых отвалов Кизеловского угольного бассейна (Пермский край) // Седьмые Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В.О. Полякова. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. С. 56-67.

Потравный И.М., Новоселов А.Л., Новоселова И.Ю. Оптимизация использования ресурсов техногенных месторождений с учетом факторов неопределенности // Экономика региона. 2017. Т.13. Вып.4. С.1280-1290.

Проектирование подпорных стен и стен подвалов. Справочное пособие к СНиП. М.: Стройиздат, 1990. 104 с.

Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С., Бахматова К.А., Гольева А.А., Горбов С.Н., Жарикова Е.А., Матинян Н.Н., Наквасина Е.Н., Сивцева Н.Е. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение 2014. №10. С.1155-1164.

Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Иванников Ф.А. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию // Почвоведение. 2011. №5, С.611-623.

Прокофьева Т.В., Попутников В.О. Антропогенная трансформация почв парка Покровское-Стрешнево (Москва) и прилегающих жилых кварталов // Почвоведение. 2010. №6. С.748-758.

Просенков В.И. Особенности режима интенсивно эксплуатируемых водоносных горизонтов Москвы и Подмосковья и вопросы их рационального использования и охраны. Автореферат дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: Всесоюз. науч.-исслед. ин-т гидрогеологии и инж. геологии. (ВСЕГИНГЕО), 1974. 23 с.

Пряничникова Е.В. Эколого-геохимические исследования в горнорудных районах (на примере Северной Осетии) // Вестн. МГУ. Сер. 4 Геология. 2005. №2. С.48-54.

Пуанова С.А., Нукунов Д.К вопросу об экологических последствиях горизонтального бурения сланцев в связи с их обогащенностью микроэлементами // Георесурсы. 2017. Т.19. №3. Ч.1. С.239-248.

Пупышев В.А. 1988. Искусственные рифы // Рыбное хоз-во. 1988. №6. С.68-69.

Резниченко О.Г. Классификация и пространственно-масштабная характеристика биотопов обрастания // Биол. моря (Владивосток). 1978. №4. С.3-15.

Резниченко О.Г., Солдатова И.Н., Цихон-Луканина Е.А. Обрастание Мировом океане. // Итоги науки и техники. Сер. Зоол. беспозвоночных. Т.4. М.: Изд. ВИНТИ, 1976. 120 с.

Рекомендации по инженерно-геологическому обоснованию параметров отвалов сухих пород, отсыпаемых на гидроотвалах. М.: Изд. Мин. угольной пр-ти СССР, 1985. 84 с.

Рекомендации по проектированию золошлакоотвалов тепловых электрических станций. Л.: Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева (ВНИИГ), 1986. 128 с.

Рекомендации по проектированию хвостовых хозяйств предприятий металлургической промышленности. М.: Стройиздат, 1975. 176 с.

Ремезов А.В., Ермак В.В. "Подземная газификация углей" как альтернатива существующим технологиям добычи угля // Вестник КузГТУ. 2005. №2. С.110-113.

Ржевский В.В. Подземное сжигание углей. М.: МГИ, 1990. 202 с.

Ржевский В.В., Селиванов Г.И. Подземное сжигание углей: Обзор. М.: МГИ, 1989. 110 с.

Розанов Л.Л. Парадоксальность и противоречивость техногенеза // Евразийское научное объединение. 2021. №1-6(71). С.468-474.

Романовский Н.Н. Подземные воды криолитозоны. М., Изд-во МГУ, 1983. 231 с.

Руководство по комплексному освоению подземного пространства крупных городов. М.: Изд-во РААСН, 2004. 206 с.

Рыбалко А.Е., Федорова Н.К. Донные отложения и геохимические процессы в барьерной зоне «дно-вода» в системе южная часть Ладожского озера – р. Нева – Невская губа – восточная часть Финского залива // Экологическое состояние водоемов и водотоков бассейна р. Невы. СПб: Научн. Центр РАН. 1996. С. 141-152.

Рыбалко А.Е., Корнеев О.Ю., Щербаков В.А. Геоэкологические аспекты дреджинга и его влияние на природную среду восточной части Финского залива // Региональная экология. 2017. №1(47). С.74-84.

Рыжова Л.П., Носова Е.В. К вопросу эффективности отработки техногенных месторождений рудных полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. №8. С.49-55.

Рябов Ю.В. Обоснование механизмов защиты земельных ресурсов от возникновения несанкционированных свалок // Региональные исследования. 2013. №1(39). С.49-56.

Робертус Ю.В., Пузанов А.В., Любимов Р.В. Особенности ртутного загрязнения окружающей среды в районе Акташского горно-металлургического предприятия (Республика Алтай) // География и природные ресурсы. 2015. №3. С.48-55.

Робертус Ю.В., Пузанов А.В., Любимов Р.В., Архипов И.А. Особенности техногеохимии ртути в зоне воздействия Акташского горно-металлургического предприятия (Республика Алтай) // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование. Труды VII Всероссийского симпозиума с международным участием и XIV Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана. Чита: Забайкальск. гос. ун-т., 2018. С.161-167.

Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Экс В.В. Классификация техногенных георесурсов в свете перспектив комплексного освоения рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. №2. С.318-324.

Саваренский Ф.П. Инженерная геология. М.- Л., ОНТИ НКТП СССР, 1937. 443 с.

Савицкий И.М. Экологическая обстановка в Карском море в связи с захоронением ядерных отходов в условиях «холодной войны» // Гуманитарные науки в Сибири. 2013. №1. С.63-67.

Савич О.И. Строительство подземных резервуаров в многолетнемерзлых породах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. №545. С. 24-27.

Савченко Н.В. Природа озер западносибирской Субарктики // География и природные ресурсы. 1992. №1 С.85-92.

Садковая аквакультура. Региональные обзоры и всемирное обозрение. Технический доклад ФАО по рыбному хозяйству 498. Рим, 2010. 274 с.

Садчиков А.В. Дегазация полигонов твердых коммунальных отходов // Фундаментальные исследования. 2017. № 2. С.82-86.

Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л., Павлова Л.Н., Трефилова Н.Я., Ачкасов А.И., Саркисян С.Ш. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

- Самойлов Я.В. Агрономические руды. М.: Гос. изд-во, 1921. 24 с.
- Сапожникова Г.П. Конец мусорной цивилизации: пути решения проблемы отходов. М: «Оксфам» в РФ, 2010. 108с.
- Саранчук В.М. Борьба с горением породных отвалов. Киев: Наукова думка, 1978. 268 с.
- Саркисов А.А. Культура безопасности: общественное восприятие проблем безопасности, пути решения // Человек. 2012. №3. С.95-113.
- Саркисов А.А., Высоцкий В.Л., Сивинцев Ю.В. Радиоэкологические проблемы реабилитации арктических морей // Атомная энергия. 2007. Т.103. Вып. 6. С.370-382.
- Саркисов А.А., Сивинцев Ю.В., Высоцкий В.Л., Никитин В.С. Атомное наследие холодной войны на дне Арктики. Радиоэкологические и технико-экономические проблемы радиационной реабилитации морей М.: Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2015. 699 с.
- Сартакова О.Ю. Промышленная микробиология: учебное пособие. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. 174 с.
- Сатаров Г.А. Экологические аспекты применения агрохимикатов // Ульяновский медико-биологический журнал. 2013. № 1. С. 138-147.
- Саваренский Ф.П. Инженерно-геологические свойства горных пород территории Москвы // Геология в реконструкции Москвы. М., Л: Изд-во АН СССР, 1938. С. 119-234.
- Свод правил СП 32-103-97 Проектирование морских берегозащитных сооружений М.: Корпорация «ТРАНССТРОЙ», 1998. 223 с.
- Свод правил СП 101.13330.2012 Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. М.: Минрегион России, 2012. 69 с.
- Семендяева Н.В., Галеева Л.П., Мармулев А.Н. Сельскохозяйственная геология: учеб. пособие. Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2011. 129 с.
- Семенов Д.А., Калошина С.В. Инновационные технологии строительства искусственных островов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2016. Т.7. №4. С. 80-92.

Семенов С.М. Парниковый эффект: открытие, развитие концепции, роль в формировании глобального климата и его антропогенных изменений // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. №2. С. 103-126.

Сергеев Е.М. Общее грунтоведение. М.: Изд-во МГУ, 1952. 383 с.

Сергеев Е.М. Инженерная геология – наука о геологической среде // Инж. геология. 1979. №1. С. 1-9.

Сергеев Е.М. Инженерная геология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982, 248 с.

Сердюков Л.И., Артемьева Е.Л., Строганова Е.В., Зуев В.М., Солопанов А.Т. О природе поглощающей способности многолетнемерзлых пород при захоронении в них дренажных рассолов // Горный журнал. 1996. № 7-8. С.5-12.

Середа Л.О., Куролап С.А., Яблонских Л.А. Эколого-геохимическая оценка техногенного загрязнения почвенного покрова промышленных городов. Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2018. 196 с.

Середин В.В. Металлоносность углей: условия формирования и перспективы освоения // Угольная база России. Т.VI. М.: ООО «Геоинформмарк», 2004. С.453-519.

Середина Т.В., Семисотова О.С, Штунь Е.Е. Технология обратной закачки шлама в пласт как экологический метод утилизации буровых отходов на шельфе Северного Каспия // Геология, география и глобальная энергия. 2015. №4(59). С. 126-133.

Сивинцев Ю.В., Вакуловский С.М., Васильев А.П., Высоцкий В.Л., Губин А.Т., Данилян В.А., Кобзев В.И., Крышев И.И., Лавковский С.А., Мазокин В.А., Никитин А.И., Петров О.И., Пологих Б.Г., Скорик Ю.И. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию. Радиоэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в арктические и дальневосточные моря («Белая книга-2000»). М.: ИздАТ, 2005. 624 с.

Сидоренко А.В. Человек, техника, земля: (Изучать земную кору как среду обитания и деятельности человека). М.: Недра, 1967. 67 с.

Сидорова Г.П. К вопросу о радиоактивности углей // Вестник ЧитГУ. 2008. №4(49). С. 129-133.

Сидорова Г.П., Крылов Д.А. Радиоактивность углей и золошлаковых отходов угольных электростанций: монография. Чита: ЗабГУ, 2016. 237 с.

Сидорова Л.П., Султанбекова Е.Е., Стригунова Е.Е. Сланцевый газ и сланцевая нефть получение и экологический ущерб. Учебное электронное текстовое издание. Екатеринбург: УрФУ, 2016. 174 с.

Симак С.В., Шумакова Е.М. Гидрологические аспекты безопасности Жигулевской ГЭС и примыкающих к ней территорий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т.12. №1(9). С. 2255-2260.

Синцов А.В., Бармин А.Н. Современная классификация почвенного покрова городских территорий // Геология, география и глобальная энергия. 2011. №3(42). С.149-155.

Скафа П.В. Подземная газификация углей. М.: Госгортехиздат, 1960. 323 с.

Скорик В.Г. Об озеленении терриконов Донбасса // Вестник сельскохозяйственной науки. 1975. №8. С. 90-93.

Скочихина Т.В. Динамика переработки строительных отходов, образующихся на территории Санкт-Петербурга Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2015. №1. С.228-238.

Славиковский О.В., Славиковская Ю.О., Валиев Н.Г. Освоение минеральных ресурсов и проблемы восстановления недр. Технологии восстановления ландшафта местности и техногенных пустот недр. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. 208 с.

Сляднев В.А. Ухудшение экологического состояния геологической среды Донбасса в связи с закрытием шахт // Геол. журнал. 2003. №4. С.90-95.

Смага Г.А., Баша Г.А., Саватеева О.А., Каплина С.П. Возможности использования свалочного газа в городах России // Твердые бытовые отходы. 2010. №2. С.36-38.

Смагин А.В. Теория и практика конструирования почв. М.: Изд-во МГУ, 2012. 544 с.

Смирнов Г.Н., Курлович Е.В., Витрешко И.А., Мальгина И.А. Гидрология и гидротехнические сооружения. М.: Высш. школа, 1988. 472 с:

Соколовский Л.К. Под. ред. Общая геология. Т.1: М.: Изд-во «КДУ», 2006. 448 с.

Солодянкина С.В., Левашёва М.В. Ландшафтно-экологическое планирование для оптимизации природопользования: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. 170 с.

Сорокин В.Т., Павлов Д.И., Кашеев В.А., Мусатов Н.Д., Баринов А.С. Научные и проектные аспекты остекловывания жидких радиоактивных отходов АЭС С ВВЭР-1200 // Радиоактивные отходы. 2020. №2(11) С.56-65.

Сохранский В.Б., Черкашенинов В.И. Подземные газонефтехранилища шахтного типа. М.: Недра, 1978. 206 с.

Спивак А.А., Локтев Д.Н., Рыбнов Ю.С., Соловьев С.П., Харламов В.А. Геофизические поля мегаполиса // Геофизические процессы и биосфера. 2016. Т.15. №2. С. 39-54.

Сподобаев Ю.М., Кубанов В.П. Основы электромагнитной экологии. М.: Радио и связь, 2000. 240 с.

Станис Е.В. Изменение некоторых компонент геологической среды под воздействием подземной добычи угля // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2005. №1(11). С.47-49.

Старко Н.В. Влияние садкового рыбоводства на структурно-функциональные характеристики и накопление донных отложений в водоемах-охладителях // Рибогосподарська наука України. 2013. №3. С. 26-34.

Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. Том 1. Типы литогенеза и их размещение на поверхности Земли. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 212 с.

Строганова М.Н., Мягкова А.Д., Прокофьева Т.В. Городские почвы: генезис, классификация, функции // В кн.: Почва. Город. Экология. М.: Фонд "За экономическую грамотность" 1997. С. 15-85.

Стукалова Н.К., Вилков Г.Н. Научные исследования при проектировании, строительстве и эксплуатации подземных хранилищ углеводородов в отложениях каменной соли. // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 1977. № 6. С.15-21.

Сунгатуллин Р.Х. Экологическая геология (краткий конспект лекций): Казань: К(П)ФУ, 2013. 80 с.

Суздалева А.Л. Экологические фрустрации и депривации как основа восприятия условий окружающей среды населением урбанизированных территорий // Экология урбанизированных территорий. №3. 2015а. С.12-17.

Суздалева А.Л. Окна Овертона в сфере естественных и технических наук: мониторинг, информационно-аналитическое сопровождение и

возможные сценарии // Естественные и технические науки. 2015б. №8/86. С.17-18.

Суздалева А.Л. Формирование экологического имиджа производственной организации и ее продукции. М.: ИД ЭНЕРГИЯ, 2016а. 416 с.

Суздалева А.Л. Создание управляемых природно-технических систем. М.: ИД ЭНЕРГИЯ, 2016б. 160 с.

Суздалева А.Л. Биотехносфера и околоземное космическое пространство // Безопасность в техносфере. 2017. Т.6. №1. С. 10-18.

Суздалева А.Л. Экологическая глобалистика: востребованность, задачи и основные направления // Естественные и технические науки. 2019а. №9(135). С.67-70.

Суздалева А.Л. Надличностная соционика // Энергия: экономика, техника, экология. 2019б. №10. С.12-27.

Суздалева А.Л. Гидротехнические методы и геоэкологические аспекты создания искусственных земельных участков и искусственных островов из строительных отходов // Гидротехническое строительство. 2020а. №5. С. 43-49.

Суздалева А.Л. Вторая геология – наука о техногенных телах литосферы // Естественные и технические науки. 2020б. №3(141). С. 1765-177.

Суздалева А.Л. Экологическая глобалистика и устойчивое развитие на этапе техногенной трансформации биосферы // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2020в. №1. С. 6-11.

Суздалева А.Л., Безносков В.Н. Резуртология: предмет изучения, востребованность и основополагающие принципы // Экология и развитие общества. №1(3). 2012. С. 23-27.

Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Суздалева А.А. Экологические и социально-экологические основы проектирования городских резортов // Экология урбанизированных территорий. 2012. №3. С. 29-34.

Суздалева А.Л., Безносков В.Н. Современный техногенез Мирового океана: характер процессов и экологические проблемы // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2020. Т.2. №1. С. 19-31.

Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Горюнова С.В. Биологические инвазии в природно-технических системах // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия экология и безопасность жизнедеятельности. 2015. № 3. С. 67-78.

Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Кучкина М.А., Суздалева А.А. Оценка экологической безопасности геотермальной электростанции на основе идентификации ее экологических аспектов // Малая энергетика. 2010. №1-2. С.59-65.

Суздалева А.Л., Гальцова А.Л. Адаптация системы экологического менеджмента ООО «Газпром бурение» как градообразующей организации // Экология урбанизированных территорий. 2015. №1. С. 47-49.

Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Техногенез и деградация поверхностных водных объектов. М.: ИД «ЭНЕРГИЯ», 2014. 456 с.

Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Окна Овертона в развитии современной концепции биосферы и решении глобальных экологических проблем // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». 2015. Т.7. №4. С. 429-449.

Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Биотехносфера: экология и безопасность жизнедеятельности: монография. М.: МГПУ, 2017. 240 с.

Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Мировой кризис водопотребления: проблемы обеспечения безопасности жизнедеятельности и охраны окружающей среды: монография. М.: МГПУ, 2018. 172 с.

Суздалева А.Л., Горюнова С.В., Безносков В.Н. Техногенные скопления вод: экологические проблемы и пути их решения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия экология и безопасность жизнедеятельности. 2015. №4 С. 107-113.

Суздалева А.Л., Жаргалсайхан Б. Комплексное решение проблем экологической безопасности и охраны труда при рекультивации угольных месторождений в районе Налайх (Монголия) // Естественные и технические науки. 2020. №7(145). С. 105-106.

Суздалева А.Л., Левашова О.А. Термический техногенез почвенного покрова и его экологическая оптимизация // Естественные и технические науки. 2018. №6(120). С.81-92.

Султанова Е.Ф., Хибарина В.А., Каздым А.А. Антропогенные почвы, техногенные грунты, культурный слой – проблемы терминологии // Минералогия техногенеза-2004. Миасс: ИМин УрО РАН, 2004. С.240-245.

Супруненко А.Н. Системный подход к терминологии способов и схем вскрытия и подготовки шахтного поля // Известия вузов. Горный журнал. 2013. №4. С.38-44.

Сусленкова М.М. Структурно-функциональная организация модельных конструкторземов разного строения в условиях г.Москвы. Дисс. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 2019. 147 с.

Суслов Н.В., Малышева Н.С., Самофалова Н.А., Дмитриев Е.Л. К вопросу о проблемах депонирования осадка на иловых площадках и риске заражения паразитозами // Чистая вода: проблемы и решения. 2011. №3-4. С.79-83.

Сухачева Л.Л. Экологические и другие аспекты дреджинга при реализации крупных инженерных проектов в восточной части Финского залива – обобщение данных многолетних аэрокосмических наблюдений // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2014. №35. С.124-132.

Сухоруких Ю.И. Под ред. Основы инженерной биологии с элементами ландшафтного планирования: Учебное пособие для студентов биологических и технических специальностей. Майкоп - М.: Т-во научн. изданий КМК, 2006. 281 с.

Сычева С.А., Узянов А.А., О.А. Герасимова, О.А. Чичагова Химический состав и С14-даты почв и разновозрастных культурных слоев городищ среднерусской возвышенности и корреляция с археологическим возрастом памятников // Материалы междисциплинарной научной конференции «Археология и естественные науки в изучении культурного слоя объектов археологического наследия». М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. С.168-176.

Тарасенко А.В., Гогин А.Г. Перспективы использования массивов-гигантов в строительстве // Достижения науки и образования. 2016. №12(13). С.19-20.

Теличенко В.И., Галицкова Ю.М. Снижение воздействия необустроенных свалок в условиях городских территорий // Вестник МГСУ. 2010. №4. С. 191-196.

Теличенко В.И., Зерцалов М.Г., Конюхов Д.С., Королевский К.Ю., Король Е.А. Современные технологии комплексного освоения подземного пространства мегаполисов. М.: Издательство АСВ, 2010. 360 с.

Терентьева М.А., Суханов А.И. Классификация деградированных почв и непочвенных поверхностных образований // Тезисы и доклады Всероссийской конференции «Антропогенная деградация почвенного покрова и меры ее предупреждения». М.: Изд-во «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», 1998 Т.1. С.16-18.

Теучеж А.А. Анализ состояния проблемы использования отходов животноводства // В сб.: Отходы, причины их образования и перспективы использования. Краснодар: Изд-во «Кубанский гос. аграрный университет им. И.Т. Трубилина», 2019. С.501-505.

Тимашев И.Е. Геоэкология – классическая парадигма и некоторые ключевые понятия // Известия Русского географического общества. 2011. Т.43. Вып. 1. С.28-33.

Тимошин А.Ф., Николаев А.П., Нитяговский А.М., Ложкина Д.А. Анализ способов утилизации нефтесодержащих отходов и разработка нового комплексного способа утилизации нефтешламов резервуарного типа // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. №6. С 209-213.

Ткачёв В.А., Прокопов А.Ю., Кочетов Е.В. Шахтное и подземное строительство. Технология строительства горных выработок: учебное пособие. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2008. 244 с.

Толмачёв В.В. Методы оценки карстовой опасности для строительных целей: состояние и перспективы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2012. №4. С. 354-363.

Толстихин Н.И. Криосфера и криопэги // Изв. вузов. Геология и разведка. 1982. №3. С.115-117.

Томаков В.И., Томаков М.В., Добророднов А.А., Шумаков С.Н., Домекин А.В., Петина И.А. Экологическое состояние геологической среды на территории Курской нефтебазы и инженерные методы защиты от загрязнения нефтепродуктами // Известия Курского государственного технического университета. 2009. №3(28). С.75-83.

Томаров Г.В., Никольский А.И., Семенов В.Н. Тенденции и перспективы развития геотермальной энергетики // Теплоэнергетика. 2012. №11. С. 26-35.

Томс Л.С. Моделирование влияния фильтрационной неоднородности на загрязнение подземных вод на участке Люблинских полей фильтрации // Сергеевские чтения. Моделирование при решении геоэкологических задач. Выпуск 11. М.: ГЕОС, 2009. С.417-421.

Торопова Е.В., Воронков И.А. Модель распространения и мощности культурного слоя Старой Руссы // Вестник Новгородского государственного университета. 2011. №63. С.66-70.

Тригубенко М.Е. Межгосударственные конфликты по территориальным проблемам Восточной и Юго-Восточной Азии // Восточная и Юго-Восточная Азия-2012: конфликты, интеграция, экономика, реформы. Москва. Институт экономики РАН, 2013. С. 53-64.

Трифонов В.Г., Караханян А.С. Геодинамика и история цивилизаций М.; Наука, 2004. 668 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 553).

Трифонов В.Г., Караханян А.С. Динамика Земли и развитие общества М.: ОГИ, 2008. 436 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 583).

Трифорова Т.А., Селиванова Н.В., Ильина М.Е. Экологический менеджмент. Учеб. Пособие. М.: Академический Проект: Фонд «Мир», 2003. 320 с.

Троль К. Ландшафтная экология (геоэкология) и биогеоценология: терминологическое исследование // Изв. АН СССР. Сер. география. 1972. №3. С. 114-120.

Трофимов В.Т. Об экологических функциях абиотических сфер Земли // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геол. 2005. № 2. С. 59-65.

Трофимов В.Т. Экологическая геология, экология окружающей среды, геоэкология – содержание и соотношение // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4 Геология. 2008. №2. С. 12-21.

Трофимов В.Т. Парадоксы современной геоэкологии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2009. № 4. С. 3-13

Трофимов В.Т., Жигалин А.Д., Богословский В.А., Архипова Е.В. Место эколого-геофизических исследований в системе урбоэкологии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2016. №6. С.3-9.

Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2002. 415 с.

Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Формирование экологических функций литосферы. Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2005. 190 с.

Трофимов В.Т., Куриленко В.В. Экологические функции абиотических сфер Земли: содержание и значение для становления нового теоретического базиса геоэкологии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геол. 2015. № 3. С.93-102.

Трофимов В.Т., Харькина М.А., Барабошкина Т.А., Жигалин А.Д. Техногенная трансформация экологических функций абиотических сфер Земли на территории промышленно-городских агломераций и ее

последствия // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. Геол. 2015. Т. 90, Вып. 4. С. 60-72.

Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Викторов С.Д., Радченко Д.Н., Франтов А.Е., Шляпин А.В., Корнеев Ю.В., Экс В.В., Пешков А.М. Разработка теоретических основ проектирования и безопасного функционирования горнотехнических систем, основанных на комбинированных физико-технических и физико-химических геотехнологиях освоения природных и техногенных месторождений твердых полезных ископаемых // В сборнике статей: «Проблемы минерагении России». М.: Изд-во Федеральное гос. бюджетное учреждение науки Геофизический центр РАН, 2012. С.457-469.

Трубецкой К.Н., Милетенко Н.А. Последствия техногенной деятельности при освоении недр и возможные пути их снижения // Маркшейдерия и недропользование. 2013. №1(63). С.68-69.

Трубецкой К.Н., Уманец В.Н., Никитин М.Б. Классификация техногенных месторождений и основные факторы их комплексного использования // Комплексное использование минерального сырья. 1987. №12(114). С.18-23.

Трубецкой К.Н., Уманец В.Н., Никитин М.Б. Классификация техногенных месторождений, основные категории и понятия // Горный журнал. 1989. №12. С.6-9.

Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е. Общая и экологическая геофизика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 576 с.

Туманова Е.С., Цибизов А.Н., Блоха Н.Т., Шаманский И.Л., Смирнов М.В., Шабанова О.С. Техногенные ресурсы минерального строительного сырья. М.: Недра, 1991. 207 с.

Тумель Н.В., Зотова Л.И. Геоэкология криолитозоны: Учебное пособие. М.: Географический факультет МГУ, 2014. 244 с.

Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод. М.: Стройиздат, 1982. 223 с.

Туровский И.С. Осадки сточных вод. Обезвоживание и обеззараживание. М.: ДеЛипринт, 2008. 375 с.

Тютюнова Ф.И., Сафохина И.А., Швецов П.Ф. Техногенный регрессивный литогенез. М.: Наука, 1988. 239 с.

Уланов А.Н. Влияние отходов животноводства на экологическую ситуацию болотных агроландшафтов // Экология России: на пути к инновациям. 2014. №10. С.29-35.

Умнова Е.В., Шейкина А.А. Экогорода // Культура. Наука. Производство. 2018. №1. С.35-38.

Уотсон Дж. Геология и человек: Введение в прикладную геологию. Л.: Недра, 1986. 184 с.

Уромова И.П., Копосова Н.Н. Влияние кремнийсодержащей агроруды на продуктивность и качество злаковых культур // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. №6. С.908-911.

Усанов Б. П., Викторов С.В., Сухачева Л.Л. Новый «удар» по Невской губе // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2008. №3-4(16-17). С.70-74.

Усманов А.Х. Техногенные залежи углеводородов на территории г.Грозный: геоэкологические проблемы и пути их решения // Геология и геофизика Юга России. 2017. № 2 С.106-115.

Усманова Т.В., Рихванов Л.П. Условия образования скоплений ценных компонентов как классификационный признак техногенных месторождений // Фундаментальные исследования. 2013. №8. С.745-749.

ФАО 2012. Состояние мировых земельных и водных ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства. Управление системами, находящимися под угрозой. М.: Издательство «Весь Мир», 2012. 301 с.

ФАО 2020. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2020. Меры по повышению устойчивости. Рим, ФАО. 2020. 205 с. <https://doi.org/10.4060/ca9229ru>

Федорова А.Я. Экологические проблемы, вызванные с гидроразрывом пласта // Сборник научн. трудов «Нефтегазовые технологии и новые материалы. Проблемы и решения». Уфа: ООО Изд-во научно-техн. литературы «Монография», 2016. С.317-323.

Федорский М.С., Шаврин И.А., Поплавная А.И. Эколого-геологические исследования свалок твердых бытовых отходов // В кн.: Экология и защита окружающей среды. Тезисы докладов IV Международной научно-практ. конф. Минск: БГУ, 2018. С. 129-133.

Федулов В.К., Артемова Л.Ю. Проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2015. 84 с.

Федяев А.Л., Сурсо М.В. Биологическая реабилитация свалки промышленных и бытовых в пригороде Архангельска // Вестник Поморского университета. Серия: Естественные науки. 2008. №2. С.58-62.

Фекличев В.Г. Классификация производств и процессов, поставляющих в природу техногенные и условно техногенные минералы // Проблемы экологической минералогии и геохимии: тез. докл. годичного собр. Минерал. общ. РАН. СПб.: Изд-во СПГУ, 1997. С. 27-28.

Ферсман А.Е. Геохимические проблемы. Очерк первый: Основные черты геохимии Союза. Л.: Изд-во АН СССР, 1931 (Труды Совета по изучению производительных сил. Серия полезных ископаемых. Вып. 2). 39 с.

Ферсман А.Е. Геохимия. Л.: ОНТИ: Химтеорет, 1934. Т.2. 354 с.

Фетисов В.В., Катаева Е.П., Фетисова Н.Ф. Взаимодействие природных и техногенных рассолов Верхнекамского месторождения солей с основными минералами соляной толщи // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т.326. №9. С.87-94.

Филин В.А. Видеоэкология. Что для глаза хорошо, а что – плохо. М.: ТАСС-реклама, 1997. 320 с.

Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М.: Недра, 1965. 378 с.

Хазанов М.И. Искусственные грунты, их образование и свойства. М.: Наука, 1975. 133 с.

Ханчук А.И., Зверева В.П., Кемкина Р.А., Кемкин И.В. Хвостохранилища Комсомольского оловорудного района: неустребованные минеральные ресурсы и угроза для экологической обстановки // Вестник ДВО РАН. 2011. № 3. С. 77-82.

Ханчук А.И., Кемкина Р.А., Кемкин И.В., Зверева В.П. Минералогическое обоснование переработки лежалых песков хвостохранилищ солнечного ГОКа (Комсомольский район, Хабаровский край) // Вестник КРАУНЦ. Наука о земле. 2012. №1. Вып. №19. С.22-40.

Харченко И.Я., Пестрякова Е.А., Пискунов А.А., Харченко А.И., Бетербиев А.С.-Э., Сонин А.Н. Особенности проектирования, строительства и эксплуатации тоннелей метрополитена и притоннельных сооружений в

условиях плотной городской застройки // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». 2019. Т6. №3. 17 с. <https://t-s.today>

Харькина М.А. Техногенная сейсмичность и ее экологическое значение // Энергия: экономика, техника, экология. 2014. №10. С.11-17.

Хаустов А.П., Редина М.М. Загрязнение геологической среды нефтепродуктами при их хранении // Энергия: экономика, техника, экология. 2012. №6. С.19-28.

Хмельёва Е.А., Земцова Е.А., Казиенков С.А. Способы утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ // Сборник статей XVIII Всероссийской научно-практической конференции «Общество. Наука. Инновации (НПК-2018)». Киров: Издво «Вятский гос. ун-т», 2018. С.1044-1048.

Ходьков А.Е., Валуконис Г.Ю. Формирование и геологическая роль подземных вод // Л.: Изд-во ЛГУ, 1968. 216 с.

Хоменко В.П. Суффозия // В кн.: Экзогенные геологические опасности. Тематический том / Природные опасности России. Монография в 6 томах. М.: Издательская фирма «КРУК», 2002. С. 158-171.

Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. М.: Геос, 2003. 215 с.

Хоменко В.П., Калашников М.А., Потапов И.А. Карстовые и суффозионные провалы в г. Москве: особенности инженерно-геологических изысканий и прогнозирования // Вестник МГСУ. 2010. №4. С.158-162.

Хохолов Ю.А. Выбор оптимальных размеров курганных могильников твердых радиоактивных отходов в условиях криолитозоны // Научные тенденции: вопросы точных и технических наук. Сб. науч. трудов по мат. X междунар. науч. конф. Международная Научно-Исследовательская Федерация «Общественная наука». СПб.: Издательство: ЦНК МНИФ «Общественная наука», 2017. С.53-56.

Храпов В.Г., Демешко Е.А., Наумов С.Н., Пирожкова А.Н., Туренский Н.Г. Тоннели и метрополитены. М.: Транспорт, 1989. 383 с.

Хрусталев Л.Н. Температурный режим вечномёрзлых грунтов на застроенной территории. М., «Наука», 1971, 167 с.

Хрусталев Л.Н. Проблемы инженерной геокриологии на рубеже XXI в. // Криосфера Земли. 2000. Т.IV. №1. С. 3-10.

Цельковский Ю.К. Опыт промышленного использования золошлаковых отходов ТЭС// Новое в российской энергетике. Энергоиздат. 2000. №2. С.22-31.

Чантурия В.А., Корюкин Б.М. // Проблемы геотехнологии и недроведения: (Мельниковские чтения): Докл. междунар. конф. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. Т. 3. С. 26-34.

Черенцова А.А. Оценка влияния золоотвала Хабаровской ТЭЦ-3 на компоненты окружающей среды // Ученые заметки ТОГУ. 2012. Т.3. №1. С.29-42.

Черенцова А.А. Геохимические аспекты состояния почв в районах полигонов захоронения золошлаковых отходов теплоэлектростанций // Ученые заметки ТОГУ. 2014. Т.5, №1. С.62-68.

Черенцова А.А. Оценка загрязнения донных отложений в зоне влияния золоотвала Хабаровской ТЭЦ-3 // Территориальные исследования: цели, результаты и перспективы. Тез. VIII Всерос. школы-семинара молодых ученых, аспирантов и студентов. Биробиджан: Изд-во «Институт комплексного анализа региональных проблем Дальневосточного отделения РАН, 2015. С.34-37.

Черенцова А.А., Майорова Л.П., Дербенцева А.М. Оценка эрозионных процессов на золоотвалах (на примере золоотвала Хабаровской ТЭЦ-3) // Природные ресурсы и экология Дальневосточного региона. Мат. междунар. научно-практ. форума. Хабаровск: Изд-во Тихоокеанский гос. ун-т., 2013. С.563-566.

Черенцова А.А., Олесик С.М. Оценка золошлаковых отходов как источник загрязнения окружающей среды и как источник вторичного сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. №3. С.230-243.

Череповицын А.Е., Сидорова К.И., Смирнова Н.В. Целесообразность применения технологий секвестрации CO₂ в России // Нефтегазовое дело. 2013. №5. С.459-473.

Черных Я.В. Влияние космических явлений на биосферу Земли, социальные процессы, физиологию и психику человека // Устойчивое развитие науки и образования. 2021. № 3. С. 56-67.

Чесноков Б.В. Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение десятое – обзор результатов за 1982-1996 гг.) // Уральский минералогический сборник. 1997. №7. С. 3-16.

Чесноков Б.В. Фундаментальные характеристики минерализации горелых отвалов Челябинского угольного бассейна // Минералогия техногенеза. 2001. Т.2. С. 9-15.

Чесноков Б.В., Бушмакин А.Ф., Вилисов В.А., Крецер Ю.Л., Макагонов Е.П., Нишанбаев Т.П., Рочев А.В. Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение одиннадцатое) // Уральский минералогический сборник. 1998. №8. С.3-12.

Чечко В.А., Чубаренко Б.В., Болдырев В.Л., Бобыкина В.И., Курченко В.Ю., Домнин Д.А. О динамике береговой зоны моря в районе оградительных молв калининградского морского канала // Водные ресурсы. 2008. Т.35. №6. С. 681-691.

Чжан Р.В. К вопросу Использования криопэггов как криогенного ресурса криолитозоны при строительстве и эксплуатации сооружений // Fundamental research. 2017. № 5. С.99-104.

Чуктуров Г.К. Санников Р.Х., Багаутдинов Р.Р. Безамбарное бурение как способ решения экологических проблем // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2012. №11. С. 36-40.

Чусов А.Н. Складирование и захоронение донного грунта, извлеченного в процессе дноуглубления, в наземных условиях // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2015. №40. С.236-245.

Чуньянь С., Пилипчук Д.А. Развитие аквакультуры в Китае // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли. Владивосток: Изд-во Дальневосточный гос. технический рыбохозяйственный университет, 2021. С.138-142.

Шакуров Р.К. Свод сейсмособытий на территории республики Башкортостан с древнейших времен до 2016 г. // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсах Академии наук Республики Башкортостан. 2016. №22. С. 55-60.

Шамаев О.Е., Можарова Н.В., Кулачкова С.А. Газогеохимическое состояние и экологические функции почв полей фильтрации через 30 лет после рекультивации // Российский журнал прикладной экологии. 2017. №2. С.25-30.

Шапарь А.Г., Копач П.И., Якубенко Л.В., Гулямов Б.С. Технологические аспекты разработки техногенных месторождений на базе шламохранилищ // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. №9. С.259-267.

Шапарь А.Г., Скрипник О.А. Принципы и особенности создания экологической сети в горнодобывающих регионах Украины // Теория и практика металлургии. 2004. №5(43). С.87-90.

Шарапова А.В., Семенов И.Н., Леднев С.А., Карпачевский А.М., Королева Т.В. Саморазвитие горнопромышленных ландшафтов старого района угледобычи в Тульской области // Экология и промышленность России. 2017. Т.21. №12. С.54-59.

Шарова О.А. Типизация объектов захоронения промышленных отходов и стоков // Геология, география и глобальная энергия. 2013. № 2(49). С. 119-125.

Шаровар И.И. Разработка технологии размещения отходов в действующих и закрывающихся шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. №2. С.35-46.

Шахвердов В.А., Шахвердова М.В. Оценка современного геоэкологического состояния Кольского залива по геохимическим данным // Арктика: экология и экономика. 2016. №4(24). С. 22-31.

Шаховская Л.С., Попкова Е.Г., Джинджолия А.Ф., Кабанов В.А. «Сланцевая революция»: мифы и реальность // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2015. №32. С.14-24.

Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей. М.: Недра, 1980, 296 с.

Шахиджанов Ю.С., Кирюхина Н.Н. Геоэкологические последствия подземных ядерных взрывов при разработке газовых месторождений в России и США // Разведка и охрана недр. 2005. №7. С.35-40.

Шеин А.Н., Камнев Я.К. Обзор научных и производственных работ по изучению многолетнемёрзлых пород в естественных и антропогенных условиях // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2020 №3 (108). С.42-50.

Шеко А.И. Генетическая классификация экзогенных геологических опасностей // В кн.: Экзогенные геологические опасности. Тематический том / Природные опасности России. Монография в 6 томах. М.: Издательская фирма «КРУК», 2002. С. 11-17.

Шеко А.И. Оценка риска экзогенных геологических процессов с учетом техногенных факторов // Оценка и управление природными рисками. Т.1. М. Издательская фирма «КРУК», 2003. С. 355-360.

- Шемякин Е.И., Курленя М.В., Кулаков Г.И. К вопросу о классификации горных ударов. // ФТПРПИ, 1986, № 5, с. 3-11.
- Шестопалов В.М., Макаренко А.Н., Шибецкий Ю.А. Влияние импактных событий на безопасность геологического хранилища радиоактивных отходов // Геол. журн. 2012. №4. С. 7-21.
- Шешнёв А.С. Что такое «антропоцен»? // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2017. Т.17. Вып. 3. С.200-206.
- Шигапов И.И., Губейдуллин Х.Х., Краснова О.Н. Отходы животноводства // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения. 2016. №15. С.118-124.
- Шилин М.Б., Голубев Д.А., Леднова Ю.А. Техносферная безопасность дреджинга: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 386 с.
- Шипилова А.М., Лысенко Н.Л. Особенности почвогрунтов промышленных отвалов, расположенных в лесостепной зоне Кузбасса // Безопасность труда в промышленности. 2014. №1. С.29-32.
- Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Шпак Е.Н., Наседкина О.И. Мониторинг загрязнения геологической среды нефтепродуктами с территории военной авиабазы // Сергеевские чтения. международный год планеты Земля: задачи геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М.: ООО "Издательство ГЕОС", 2008. С.373-377.
- Штини И., Мушкетов Д. Техническая геология. Л., М.: Гос. изд-во, 1925. 305 с.
- Шугалей И.В., Гарабаджиу А.В., Илюшин М.А., Судариков А.М. Некоторые аспекты влияния алюминия и его соединений на живые организмы // Экологическая химия. 2012. Т.21. №3. С. 172-186.
- Шулькин В.М., Чернова Е.Н., Христофорова Н.К., Коженкова С.И. Влияние горнорудной деятельности на изменение химического состава компонентов водных экосистем // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокиология. 2014 №6. С. 483-494.
- Щерба В.А. Сланцевый газ: перспективы добычи и экологические проблемы // В сб.: Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность-2017. Севастополь: Изд-во Севастоп. гос. ун-та, 2017. С. 1589-1591.

Эдельштейн К.К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.

Эдельштейн К.К. Гидрология материков: Учеб, пособие для студ. вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 304 с.

Экологические функции городских почв. Отв. ред. А.С. Курбатова, В.Н. Башкин. М.: Смоленск: Маджента, 2004. 232 с.

Экологический энциклопедический словарь. М.: Издательский дом «Ноосфера», 1999. 930 с.

Юрова М.П. Экологические аспекты разработки сланцевых углеводородов // Нефтепромысловое дело. 2016. №10. С.61-63.

Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В. Минералогия техногенных образований. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. 160 с.

Яковлев П.И., Тюрин А.П., Фортученко Ю.А. Портовые гидротехнические сооружения. М.: Транспорт, 1990. 320 с.

Янин Е.П. Техногенные речные илы (условия формирования, вещественный состав, геохимические особенности). М.: НП «АРСО», 2018. 415 с.

Янин Е.П. Коррозия как источник загрязнения окружающей среды. М.: НП «АРСО», 2020. 112 с.

Янченко Г.А. Перспективы повышения энергетической эффективности процесса подземного сжигания угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. №5. С. 120-122.

Янченко Г.А., Черный А.А. О времени нагревания пород кровли и почвы угольного пласта при его сжигании и газификации // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2001. №10. С.105-107.

Ярмонов А.Н. Исследование возможности использования глиноземистого цемента в производстве пропантов для гидроразрыва пласта // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2018. Т.20. №4. С.95-107.

Ярунин С.А., Закоршменный И.М., Максимов В.Ю. Потенциальные возможности многоцелевого использования подземного пространства угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. 1998. №3. С.27-29.

Ярунина И.С. Экономическая оценка возможности использования подземного пространства закрывающихся шахт для складирования продуктов термического обезвреживания твердых бытовых отходов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 1994. №4. С.39-40.

Abalansa S., El Mahrad B., Vondolia G.K., Icely J., Newton A. The Marine Plastic Litter Issue: A Social-Economic Analysis // Sustainability. 2020. V.12. Article 8677. 27 p.

Alpopia C., Manole C. Integrated Urban Regeneration – Solution for Cities Revitalize // Procedia Economics and Finance. 2013. N6. P.178-185.

Anis H.Z., Zainul M.B., Mazlina M. Redevelopment of abandoned highland towers as memorial landscape // Design Ideals. 2020. V.2. N1. P. 36-43.

Anisimov O.A., Borzenkova I.I., LavrovS.A, Strelchenko J.G. The current dynamics of the submarine permafrost and methane emissions on the shelf of the Eastern Arctic seas // Ice and Snow. 2012. № 2. P. 97-105.

Antic D.P. Radiological impact of a coal-fired power plant analysis using a generalized ecological model // Trans. Amer. Nuc. Soc. 1997. N76. P.41-43.

Baine M. Artificial reefs: a review of their design, application, management and performance // Ocean Coast. Manag. 2001. V.44. N.3-4.P.241-259.

Balzannikov M.I., Mikhasek A.A. The use of modified composite materials in building hydraulic engineering structures // Procedia Engineering. 2014. V 91 P.183-187.

Batty L.C. The potential importance of mine sites for biodiversity // Mine water and the environment. 2005. V.24. N.2. P.101-103.

Bayer P., Rybach L., Blum P., Brauchler R. Review on life cycle environmental effects of geothermal power generation // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. V.26. P.446-463.

Benner S.G., Blowes, D.W., Gould W.D., Herbert R.B. Jr., Ptacek C.J., 1999. Geochemistry of a permeable reactive barrier for metals and acid mine drainage. // Environ. Sci. Technol. 1999. Vol. 33. N16. P.2793-2799.

Bergmann M., Wirzberger V., Krumpfen T., Lorenz, C., Primpke S., Tekman M.B., Gerdts, G. High quantities of microplastic in Arctic deep-sea sediments from the HAUSGARTEN observatory // Environ. Sci. Technol. 2017. V.51. N19. P.11000-11010.

Bialowiec A. Hazardous emissions from municipal solid waste landfills. Some aspects of environmental impact of waste dumps // Contemporary problems of management and environmental protection. 2011. N9. P.7-28.

Bibby H.M., Hurst A.W. Tilt monitoring at wairakei geothermal field // Geothermics. 1990.V.19. N4. P.385-396.

Blowes D.W., Ptacek C.J., Benner S.G., McRae C.W.T, Bennett T.A., Puls R.W. Treatment of inorganic contaminants using permeable reactive barriers // J. Contam. Hydrol. 2000. Vol. 45. N1-2. P.123-137.

Blume H.-P. Classification of soils in urban agglomerations // Catena. 1989. V.16. N3. P. 269-275.

Bolivar J.P., Garcia-Tenorio R., Garcia-Lein M. Enhancement of natural radioactivity in soils and salt-marshes surrounding a non nuclear industrial complex // Sci. Total. Environ. 1995. N173-174. P.125-136.

Bohnsack J.A., Sutherland D.L. Artificial reef research: a review with recommendations for future priorities // Bulletin of marine science. 1985. V.37. N1. P.11-39.

Bray R.N. (ed.) Environmental Aspects of Dredging. London, Leiden, New York, Philadelphia, Singapore: IADC/CEDA/Taylor and Francis. 2008. 386 p.

Bretzel F., Calderisi M. Metal contamination in urban soils of coastal Tuscany (Italy) // Environ. Monit. and Assess. 2006. V.118. № 1-3. P. 319-335.

Brown K.A, Maunder D.H. Exploitation of landfill gas: A UK perspective // Water Sci. Technol. 1994. V.30. N12. P.143-151.

Calvo N., Varela-Candamio L., Novo-Corti I. A Dynamic model for construction and demolition (C&D) waste management in Spain: driving policies based on economic incentives and tax penalties // Sustainability. 2014. N6. P.416-435.

Cauwenberghe L., Claessens M., Vandegheuchte M.B., Mees J. Assesment of marine debris on the Belgian Continental Shelf // Marine Pollution Bulletin. 2013. V.73. N1. P.161-169.

Chang B.D., Page F.H., Losier R.J., McCurdy E.P. Organic enrichment at salmon farms in the Bay of Fundy, Canada: DEPOMOD predictions versus observed sediment sulfide concentrations // Aquaculture Environment Interactions. 2014. V.5. N3. P.185-208.

Cheng H, Li M, Zhao C, Li K, Peng M, Qin A, Cheng X. Overview of trace metals in the urban soil of 31 metropolises in China // J. Geochem. Explor. 2014. V.139. P.31-52.

- Chee S.Y., Othman A.G., Sim Y.K., Adam A.N.M., Firth L.B. Land reclamation and artificial islands: Walking the tightrope between development and conservation // *Global Ecology and Conservation*. 2017. V.12. P.80-95.
- Choi A., Cho H., Kim B., Kim H.C., Jung R.-H., Lee W.-C., Hyun J.-H. Effects of finfish aquaculture on biogeochemistry and bacterial communities associated with sulfur cycles in highly sulfidic sediments // *Aquaculture environment interactions*. 2018. V.10. P.413-427.
- Crutzen P.J. Geology of mankind // *Nature*. 2002. V.415. N3. P.23.
- Crutzen P.J., Stoermer E.F. The Anthropocene // *IGBP Newsletter*. 2000. N41. P.17-18.
- Cruz G.A., Lopez V., Sosa C. Pollution by solid wastes carried by marine currents to the Caribbean coast of Honduras // *Revista de biologia tropical*. San Jose. 1990. V. 38 N2A. P. 339-342.
- Culshaw M.G., Price S.J. The 2010 Hans Cloos Lecture. The contribution of urban geology to the development, regeneration and conservation of cities. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2010. V.70 N3. P.333-376.
- Cunningham D.J., Wilson S.P. Marine Debris on Beaches of the Greater Sydney Region // *Journal of Coastal Research*. 2003. V.19, N2. P.421-430.
- Dafforn K.A., Glasby T.M., Airolidi L., Rivero N.K., Mayer-Pinto M., Johnston E.L., 2015. Marine urbanization: an ecological framework for designing multifunctional artificial structures. *Front. Ecol. Environ*. V.13. N2. P.82-90.
- Dameron O.J., Parke M., Albins M., Russell B. Marine debris accumulation in the Northwestern Hawaiian Islands: An examination of rates and // *Marine Pollution Bulletin*. 2007. V. 54. N4. P. 423-433.
- Davis R.A. Jr., Welty A.T., Borrego J., Morales J.A., Pendoyn J.G., Ryan J.G. Rio Tinto estuary (Spain):5000 years of pollution // *Environmental Geology*. 2000. V.39. N10. P. 1107-1116.
- Davis R.V. *Inventing the Present: Historical Roots of the Anthropocene* // *Earth Science History*. 2011. V.30. №1. P. 63-84.
- Debrot A.O., Tiel A.B., Bradshaw J.E. Beach Debris in Curacao // *Marine Pollution Bulletin*. 1999. V.38. N9. P. 795-801.
- De Mulder E.F.J., Pereira J.J. *Engineering geology for tomorrow's cities* // *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications*. 2009. N22. P.25-31.

Derraik J.G.B. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review // *Marine Pollution Bulletin*. 2002. V.44. N9. P.842-852.

Dijkstra J.J., Comans R.N.J., Schokker J., Van der Meulen M.J. The geological significance of novel anthropogenic materials: Deposits of industrial waste and by-products // *Anthropocene*. 2019. V.28. 100229. P.1-13.

DiPippo R. Geothermal energy electricity generation and environmental impact // *Energy Policy*. 1991. V.19, N8. P.798-807.

DiPippo R. 2005. Geothermal power plants. Principles, applications and case studies. Oxford UK: Elsevier. 450 p.

Drilling Productivity Report U.S. Energy Information Administration, March 2021. <https://www.eia.gov>drilling>pdf>dpr-full>

Eitner V., Ragutzki G. Effects of Artificial Beach Nourishment on Nearshore Sediment Distribution (Island of Norderney, Southern North Sea) // *Journal of Coastal Research*. 1994. V.10. N3. P.637-650.

Eng C.T., Paw J.N., Guarin F.J. The environmental impact of aquaculture and the effects of pollution on coastal aquaculture development in Southeast Asia // *Marine Pollution Bulletin*. 1989. V.20. N7. P.335-343.

Epstein E. Silicon: its manifold roles in plants // *Ann. Appl. Biol.* 2009. P.155-160.

Evans K., Zappone A., Kraft T. A survey of the induced seismic responses to fluid injection in geothermal and CO₂ reservoirs in Europe // *Geothermics*. 2012. V.41. P.30-54.

Fairhurst C. Some Challenges of Deep Mining // *Engineering*. 2017. N3. P.527-537

Falck W.E., Nilsson K.-F. Geological Disposal of Radioactive Waste: Moving Towards Implementation. Luxembourg: European Commission, 2009. 52 p.

Features, Events and Processes (FEPs) for Geologic Disposal of Radioactive Waste. Paris: NEA/OECD, 2000. 89 p.

Finney S.C., Edwards L.E. The “Anthropocene” epoch: Scientific decision or political statement? // *GSA Today*. 2016. V.26. N3-4. P.4-10.

Finkelman R.B., Aruscavage P.J. Concentration of some platinum-group metals in coal // *Int. J. Coal Geol.* 1981. V.1. №2. P.95-99.

- Fredette T.J., French G. T. Understanding the physical and environmental consequences of dredged material disposal: History in New England and current perspectives // *Mar. Pollut. Bull.* 2004. V.49. N1-2. P.93-102.
- Freedman B.N., Hutchinson T.C. Sources of metal and elemental contamination on terrestrial environment // In: *Effect of heavy metal pollution on plants*. Vol. 2. London and New Jersey: Applied Science Publishers, 1981. P. 35-94.
- Gálvez-Martos J.-L., Styles D., Schoenbergerd H., Zeschmar-Lahl B. Construction and demolition waste best management practice in Europe // *Resources, Conservation and Recycling*. 2018. V. 136. P. 166-178.
- Gass I.G., Masson-Smith D. The geology and gravity anomalies of the Troodos Massif, Cyprus // *Phil. Trans. Roy. Soc. London, Series A, Math. Phys. Sci.* 1963. V.255. N1060. P.417-467.
- Gesell T.F., Prichard H.M. The technologically enhanced radiation environment // *Health Phys.* 1975. N28. P.361-366.
- Giere R., Sidenko N.V., Lazareva E.V. The role of secondary minerals in controlling the migration of arsenic and metals from high-sulfide wastes (Berikul gold mine, Siberia) // *Appl. Geochem.* 2003. V.18. N9. P.1347-1359.
- Givi A.A., Karimi S., Sadat M., Zoghi M., Karimi S., Foroughi N., Malekmohamadi B. Ecological risk assessment of construct artificial islands by fault tree analysis method in the Persian gulf // *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*. 2015. V.3. N3. P.139-146.
- Glover R.B., Hunt T.M., Severne C.M. Impacts of development on a natural thermal feature and their mitigation – Ohaaki Pool, New Zealand // *Geothermics*, 2000. V.29. N4-5. P.509-523.
- Goossens M.A. Landfill gas power plants // *Renew Energy*. 1996. V.9. N1-4. P.1015-1018.
- Gottmann J. Megalopolis or the urbanization of the Northeastern Seaboard // *Economic Geography*. 1957. V.33. N3. P.189-200.
- Gudmundsson J.S. Geothermal electric power in Iceland: development in perspective. *Energy*. 1983. V.8. N7. P.491-513.
- Gvirtzman G., Klang A., Rotstein Y. Early Jurassic shield volcano below Mount Carmel: a new interpretation of the magnetic and gravity anomalies and implications for Early Jurassic rifting // *Isr. J. Earth Sci.* 1990. V.39. N2-4. P.149-159.

Handy R.D., Poxton M.G. Nitrogen pollution in mariculture: toxicity and excretion of nitrogenous compounds by marine fish // *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 1993. V.3: N3. P.205-241.

Hayward P., Fleury C. Absolute waterfrontage: Road networked artificial islands and finger island canal estates on Australia's Gold Coast // *Urban Island Studies*. 2016. N2. P.25-49.

Heather A.C., Carole C.P. Silica in plants: Biological biochemical and chemical studies // *Ann. Bot.* 2007. V.100. №7. P.1383-1389.

Henze G., Weiss D. Radiological impact on the environment due to mining of uranium bearing hard coal in central Germany (Freital region, Saxony) // *Environ. Impact Radioact. Releases*. Vienna, 1995. P.493-501.

Hollis J.M. The classification of soils in urban areas. In: *Soils in the Urban Environments*. Oxford: Blackwell Scientific publications, 1991. P. 5-27.

Huang W.L., Lin D.H., Chang N.B., Lin K.S. Recycling of construction and demolition waste via a mechanical sorting process // *Resources Conservation and Recycling*. 2002. V.37. N1. P:23-37.

Hutton A.C. Petrographic classification of oil shales // *International Journal of Coal Geology*. 1987. V.8. N3. P.203-231.

IAEA-TRS N.413. Scientific and Technological Basis for the Geological Disposal of Radioactive Waste. Vienna: IAEA 2003. 80 p

Iwama G.K. Interactions between aquaculture and the environment // *Crit. Rev. Environ. Control*. 1991. V.21. N2. P.177-216.

Izadi G., Elsworth D. Reservoir stimulation and induced seismicity: Roles of fluid pressure and thermal transients on reactivated fractured networks// *Geothermics*. 2014. N51. P.368-379.

Jewaskiewitz B. Landfill gas recovery, green energy, and the clean development mechanism // *Journal of the South Afr. Inst. Civ. Eng.* 2010. V.18. N7. P.19-23.

Kane I.A., Fildani A. Anthropogenic pollution in deep-marine sedimentary systems – A geological perspective on the plastic problem // *Geological Society of America. Geology*. 2021. V.49. N5. P.607-608.

Karrow P., White O.I. (eds). *Urban Geology of Canadian Cities*. Geological Association of Canada. Special Paper 42. Geological Association of Canada, 1998. 500 p.

- Kelley B.C., Tuovinen O.H. Microbial oxidation of minerals in mine tailings // *Chem. and Biology of Solid Waste*. Berlin: Springer Verlag, 1988. P. 33-53.
- Knutsen H., Cyvin J.B., Totland C., Lilleeng Ø., Wade E.J., Castro V., Pettersen A., Laugesen J., Møskeland T., Arp H.P.H. Microplastic accumulation by tube-dwelling, suspension feeding polychaetes from the sediment surface: A case study from the Norwegian Continental Shelf // *Mar. Environ. Res.* 2020. V.161. Article 105073. 10 p.
- Kristmannsdottir H., Armannsson H. Environmental aspects of geothermal energy utilization // *Geothermics*. 2003. V.32. N4-6. P.451-461.
- Kuroda M., Uchida K., Tokai T., Miyamoto Y., Mukai T., Imai K., Shimizu K., Yagi M., Yamanaka Y., Mituhashi T. The current state of marine debris on the seafloor in offshore area around Japan // *Marine Pollution Bulletin*. 2020. V.161. Article 111670. 8 p. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111670>
- Larson C. China's island building is destroying reefs // *Science*. 2015. V.349(6255), P.1434.
- Lau H., Whyte A., Law P.L. Composition and Characteristics of Construction Waste // *Int. J. Environ. Res.* 2008. N2(3). P.261-268.
- Liang Y., Sun W., Zhu Y.-G., Christie P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review // *Environ. Pollut.* 2007. V.147. P.422-428.
- Lu W., Yuan, H. Exploring critical success factors for waste management in construction projects of China // *Resources, Conservation and Recycling*. 2010. V.55. N2. P.201-208.
- Lu W., Yuan H., Li J., Hao J.J.L., Hi X., Ding Z. An empirical investigation of construction and demolition waste generation rates in Shenzhen city, South China. *Waste Manage.* 2011. V.31. P.680-687.
- Luketina K. The Waikato regional geothermal resource // *Waikato Regional Council Technical Report*. 2012. V.10. 28 p. / www.waikatoregion.govt.nz
- Martell R., Mendoza E., Mariño-Tapia I., Odériz I., Silva R. How Effective Were the Beach Nourishments at Cancun? // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2020. N8(388). P.1-18.
- Mayer-Pinto M., Johnston E.L., Bugnot A.B., Glasby T.M., Airoidi L., Mitchell A., Dafforn K.A. Building 'blue': an eco-engineering framework for foreshore developments // *J. Environ. Manag.* 2017. N189. P. 109-114.

Merino M.R., Gracia, P.I., Azevedo, I.S.W. Sustainable construction: construction and demolition waste reconsidered // Waste Management and Research. 2010. V.28. N2. P.118-129.

Merry R.N., Tiller K.G., Alston A.M. Accumulation of copper, lead, and arsenic in some Australian Orchard soils // Australian J. Soil Res. 1983. № 21. P. 549-561.

Marsden S.S., Davis S.N. Geological subsidence // Sci. Amer. 1967. V. 216, N6. P. 93-104. McEvilly T.V., Peppin W.A. Source characteristics of earthquakes explosions and afterevents // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1972. V.31 N1-2. Pp. 67-82.

Mohd Salleh N.H., Aman A.A., Hamid S.A. Selection of artificial reef deployment sites by using evidential reasoning // American Fisheries Society Symposium. 2018. V.86. P.251-264.

Naeth M.A., Archibald H.A., Nemirsky, C.L., Leskiw L.A., Brierley J.A., Bock M.D., Vanden Bygaart A.J., Chanasyk D.S. Proposed classification for human modified soils in Canada: Anthroposolic order // Can. J. Soil Sci. 2012. V. 92. N1. P. 7-18.

Njoku P.O., Odiyo J.O., Durowoju O.S., Edokpayi J.N. A Review of Landfill Gas Generation and Utilisation in Africa // Open Environmental Sciences. 2018. N10. P.1-15.

Nyns E.-J., Gendebien A. Landfill Gas: From Environment to Energy // Water Sci. Technol. 1993. V.27. N2. P.253-259.

Omar H, Rohani S. Treatment of landfill waste, leachate and landfill gas: A review // Front Chem. Sci. Eng. 2015. V.9. N1. P.15-32.

Otley H., Ingham R. Marine debris surveys at Volunteer Beach, Falkland Islands, during the summer of 2001/02 // Marine Pollution Bulletin. 2003. V.46. N12. P.1534-1539.

Performance of engineered barrier materials in near surface disposal facilities for radioactive waste IAEA. Vienna, 2001. 50 p.

Phillips M.J., Enyuan F., Gavine F., Hooi T.K., Kutty M.N., Lopez N.A., Mungkung R., Ngan T.T., White P.G., Yamamoto K., Yokoyama H. Review of environmental impact assessment and monitoring in aquaculture in Asia Pacific. In FAO. Environmental impact assessment and monitoring in aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. N.527. Rome, FAO, 2009. P.153-283.

Potier J.-M. Final closure of a low level waste disposal facility // In: Planning and operation of low level waste disposal facilities: proceedings of an International

Symposium on Experience in the Planning and Operation of Low Level Waste Disposal Facilities. Vienna, IAEA, 1997. P. 523-530.

Rajendran K., Harish C.M. Mechanism of triggered seismicity at Koyna: An evaluation based on relocated earthquakes // *Current Science*, 2000 V.79, N.3, p. 358-363.

Read P.A., Fernandes T.F., Miller K.L. The derivation of scientific guidelines for best environmental practice for the monitoring and regulation of marine aquaculture in Europe // *J. Appl. Ichthyol.* 2001. V.17. N4. P.146-152.

Rossiter D.G. Classification of Urban and Industrial Soils in the World Reference Base for Soil Resources // *J. Soils Sediments.* 2007. V.7. N2. P. 96-100.

Rothbaum H.P., Goguel R.L., Johnston A.E., Mattingly G.E.G. Cadmium accumulation in soils from long-continued application of superphosphate // *The J. of Soil Science.* 1986. V.37. №1. P. 99-107.

Rushbrook P. Definition des dechets d'activites de soins et conseils pour leur gestion // *Eurobiologist.* 1997. V.31. N232. P.43-53.

Schneider O., Sereti V., Eding E.H., Verreth J.A.J. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems // *Aquacultural Engineering.* 2005. V.32. N.3-4. P.379-401.

Sellin P., Leupin O.X. The use of clay as an engineered barrier in radioactive-waste management – a review // *Clays and Clay Minerals.* 2013. V.61. N6. P.477-498.

Siemens C.W. On the regenerative gas furnace as applied to the manufacture of cast steel // *J. Chem. Soc.* 1868. V.21. P.279-310.

Soares J., Miguel I., Venâncio C., Lopes I., Oliveira M. Perspectives on Micro(Nano)Plastics in the Marine Environment: Biological and Societal Considerations // *Water* 2020. V.12. Article 3208. 16 p.

Stewart A. Detecting the health risks of radiation // *Med. Conflict and Surv.* 1999. V.15. N2. P.132-148.

Strafella P., Fabi G., Despalatovic M., Cvitkovi'c I., Fortibuoni T., Gomiero A., Guicciardi S., Marceta B., Raicevich S., Tassetti A., Spagnolo A., Scarcella G. Assessment of seabed litter in the Northern and Central Adriatic Sea (Mediterranean) over six years // *Mar. Pollut. Bull.* 2019. V.141. N1. P.24-35.

Stronkhorst J., Ariese F., van Hattum B. Postma J. F., de Kluijver M., den Besten P.J., Bergman M.J.N., Daan R., Murk A., Vethaak A.D. Environmental impact

and recovery at two dumping sites for dredged material in the North Sea // Environ. Pollut. 2003. V.124. N1. P.17-31.

Tam V.W.-Y., Lu W. Construction waste management profiles, practices, and performance: a cross-jurisdictional analysis in four countries // Sustainability. 2016. V.8. N190. P.1-16.

The Future of Geothermal Energy Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century. An assessment by an MIT-led interdisciplinary panel. Massachusetts Institute of Technology. 2006. 372 p. // http://www1.eere.energy.gov/geothermal/egs_technology.html

Themelis N.J, Ulloa P.A. Methane generation in landfills // Renew Energy. 2007. V.32. N7. P.1243-1257.

Tsutsumi H. Impact of fish net pen culture on the benthic environment of a cove in south Japan // Estuaries. 1995. V.18. N1A. P.108-115.

UNEP. Marine Litter: A Global Challenge. Nairobi: UNEP, 2009. 232 p.

Uruse T, Okumura H, Panyosaranya S, Inamura A. Emission of volatile organic compounds from solid waste disposal sites and importance of heat management // Waste management and research. 2008. N6. P.534-538.

Van der Flier-Keller E. Platinum group elements in Canadian Coal // Energy Sour. 1990. V.12. № 3. P.225-238.

Van Slobbe E., de Vriend H.J., Aarninkhof S., Lulofs K., de Vries M., Dircke P. Building with Nature: In search of resilient storm surge protection strategies // Nat. Hazards. 2013. V.65. N.1. P.947-966.

Wahi N., Joseph C., Tawie R., Ikau R. Critical review on construction waste control practices: legislative and waste management perspective // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2016. N.224. P.276-283.

Wang Huan-hua, Li Lian-qing, Wu Xin-min, Pan Gen-xing Distribution of Cu and Pb in particle size fractions of urban soils from different city zones of Nanjing, China // J. Environ. Sci. 2006. V.18. № 3. P. 482-487.

Ware S., Bolam S.G., Rees H.L. Impact and recovery associated with the deposition of capital dredgings at UK disposal sites: Lessons for future licensing and monitoring // Mar. Pollut. Bull. 2010. V.60. N1. P.79-90.

Waters C.N., Zalasiewicz J.A., Williams M., Ellis M.A., Snelling A.M. A stratigraphical basis for the Anthropocene? // Geological Society. London. Special Publicaton. 2014. V.395. P. 1-21.

Wicks G., Bickford D. Doing something about high level nuclear waste // Technol. Rev. 1989. V. 92. N8. P.51-58.

Woolson E.A., Axley J.N., Kearney P.S. The chemistry and phytotoxicity of As in soils. 1. Contaminated field soils // Soil Sci. Soc. Am. Proc. 1971. Vol. 35, № 6. P. 938-943.

World Energy Outlook. Paris: IEA, 2009. 691 p.

Wu R.S.S., The environmental impact of marine fish culture: towards a sustainable future // Mar. Pollut. Bull. 1995. V.31 N 4-12. P.159-166.

Wu R.S.S, Lam K.S, MacKay D.W, Lau T.C., Yam V. Impact of marine fish farming on water quality and bottom sediment: a case study of the sub-tropical environment // Marine Environmental Research. 1994. V.38: N2. P.115-145.

Yokoyama H. Environmental quality criteria for fish farms in Japan. Aquaculture. 2003. V.226. N1-4. P.45-56.

Zalasiewicz J., Williams M., Haywood A., Ellis M. The Anthropocene: a new epoch of geological time? // Phil. Trans. R. Soc. A. 2011a. V.369. N2. P.835-841.

Zalasiewicz J., Williams M., Fortey R., Smith A., Barry T.L., Coe A.L., Bown P.R., Rawson P.F., Gale A., Gibbard P., Gregory F.J., Hounslow M.W., Kerr A.C., Pearson P., Knox R., Powell J., Waters C., Marshall J., Oates M., Stone P. Stratigraphy of the Anthropocene // Philosophical Transactions of the Royal Society A. 2011b. V.369. N1938. P. 1036-1055.

Zuloaga P., Guerra-Librero A., Morales A. L/ILW disposal experience in Spain after the startup of El Cabril disposal facility // In: Planning and operation of low level waste disposal facilities: proceedings of an International Symposium on Experience in the Planning and Operation of Low Level Waste Disposal Facilities. Vienna, IAEA, 1997. P. 261-274.

СЛОВАРЬ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕРМИНОВ

АБРАЗИЯ – процесс разрушения берегов под действием волн и в связи с изменением уровня водного объекта.

АГРЕГАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ – процесс соединения двух и более ранее обособленных тел в единую структуру и/или установления между ними постоянного взаимодействия.

АГРОПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ (БИОТЕХНОГЕННЫЕ) ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – образования, возникающие в результате трансформации поверхностных слоев земной коры при осуществлении сельскохозяйственной деятельности (использования биотехнологий промышленного выращивания организмов).

АКВАКУЛЬТУРА – выращивание водных организмов (рыб, ракообразных, моллюсков, водорослей) в естественных и искусственных водных объектах.

АКВАТОРИЯ – участок водной поверхности, ограниченный естественными, искусственными или условными границами.

АККУМУЛЯТИВНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – образования в земной коре, возникшие вследствие самопроизвольного (без участия человека) накопления в ней техногенных материалов.

Примечание. В качестве их разновидностей рассматриваются барьерно-аккумулятивные геологические тела, образующиеся на естественных (например, во впадинах рельефа) или специально создаваемых барьерах, задерживающих вещества, в результате чего происходит их накопление.

АНТРОПОГЕННО-ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА (СТРУКТУРЫ) – скопления вещества, сформированные главным образом из продуктов жизнедеятельности человека (фекальных стоков), с использованием технических средств.

АНТРОПОЦЕН – неформальная геологическая эпоха, во время которой человеческая деятельность стала основным фактором формирования земной коры.

БАЛАНСОВЫЕ ЗАПАСЫ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО – запасы, использование которых экономически целесообразно и которые удовлетворяют условиям, устанавливаемым для подсчета запасов в недрах.

БЕРЕГОЗАЩИТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ – гидротехнические сооружения, используемые для защиты морских берегов и пляжей от разрушения их волнами и течениями (абразии).

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ – более или менее замкнутые пути движения химических элементов через живые организмы, атмосферу, гидросферу, почвенный покров (педосферу) и литосферу.

БИОКОРРОЗИЯ (БИОЛОГИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ) – разрушение живыми организмами и выделяемыми ими продуктами жизнедеятельности поверхностей материалов и конструкций. В геологической среде наибольшую значимость среди подобных организмов имеют бактерии и грибы.

БИОТЕХНОСФЕРА – населенная живыми организмами оболочка Земли, в формировании условий которой значимым фактором является человеческая деятельность.

БУНЫ – берегозащитные сооружения, представляющие собой поперечные стены (в большинстве случаев железобетонные), устанавливаемые перпендикулярно, или под углом к линии берега.

БУРЕНИЕ СКВАЖИНЫ – разрушение горных пород с целью создания в земной коре трассы для прокладки трубопровода.

БУРОВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ – распространенный способ проходки горных пород путем бурения в них шпуров (цилиндрических углублений диаметром до 75 мм и протяженностью до 5 м), куда затем закладываются заряды, взрыв которых вызывает разрушение определенного участка породного массива.

БУРОВОЙ РАСТВОР – сложная многокомпонентная дисперсная система суспензионных, эмульсионных и аэрированных жидкостей, применяемых для промывки скважин в процессе бурения.

БУРОВОЙ ШЛАМ – измельченная выбуренная порода, загрязненная остатками бурового раствора.

БУРОВЫЕ СТОЧНЫЕ ВОДЫ – воды, образующиеся при промывке буровой площадки, бурового оборудования и инструмента; содержат остатки бурового раствора, химреагентов, нефти.

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЛАНИРОВКА ТЕРРИТОРИИ – изменение естественного и техногенно-трансформированного рельефа местности путем срезки и подсыпки грунта, смягчения уклонов и выполаживания возвышенностей в соответствии с требованиями подготовки поверхности для застройки.

ВИДЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ – зрительно-психологическое воздействие, которое оказывает на человека эмоциональное восприятие состояния окружающей среды (территории, ее участка). Может быть позитивным (высоким) – повышающим привлекательность среды, и негативным (низким) – снижающим ее.

ВОДНАЯ ЭРОЗИЯ – процесс разрушения поверхности (горной породы, грунта, почвы и иных естественных и искусственных образований) потоками воды.

ВОЕННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – участки земной коры, трансформированные при возведении оборонительных сооружений или в ходе вооруженных конфликтов.

ВОЛНОЛОМ – см. Мол.

ВСКРЫШНЫЕ ПОРОДЫ; Вскрыша – горные породы, покрывающие и вмещающие полезное ископаемое, подлежащие выемке и перемещению в процессе открытых горных.

ВТОРАЯ ГЕОЛОГИЯ – наука, изучающая техногенные тела, как один элемент литосферы, их структуру, процессы образования, взаимодействия (агрегации) и трансформации, а также создающая научные основы для решения практических проблем, обусловленных различными аспектами техногенеза земной коры.

ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЕ – вторичные материальные ресурсы, для которых имеется реальная возможность и целесообразность использования.

ВТОРИЧНЫЕ РЕСУРСЫ – материальные накопления сырья, веществ, материалов и продукции, образованные во всех видах производства и потребления, которые не могут быть использованы по прямому назначению, но потенциально пригодные для повторного использования для получения сырья, изделий и/или энергии.

ВТОРИЧНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – участки земной коры, возникающие в результате пространственного перемещения ранее образовавшихся техногенных геологических тел, которые в данном контексте рассматриваются как первичные.

ВЫСАЧИВАНИЕ – протекающий с относительно низкой скоростью процесс выделения из техногенных тел жидких или газообразных продуктов.

ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ – процесс перехода в раствор (вымывание) одного или нескольких компонентов твердого материала, например, горной породы.

ГАБИОНЫ – уплощенные емкости из прочной металлической проволочной сетки, заполняемые камнями и другими твердыми материалами.

ГАЗООБРАЗНОЕ ТЕХНОГЕННОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ТЕЛО – искусственно созданные и естественные пустоты в толще земной коры, заполнение газом которых произошло в результате человеческой деятельности.

ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ – влияние различных форм движения земной коры на условия жизни организмов и жизнедеятельность населения.

ГЕОДИНАМИЧЕСКИ-ОПАСНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – трансформированные под воздействием человеческой деятельности участки земной коры, протекающие в которых экзогенные процессы создают угрозу для жизни людей.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА – любые горные породы и почвы, слагающие верхнюю часть литосферы, которые испытывают воздействие инженерно-хозяйственной деятельности человека, приводящее к изменению протекающих в них природных геологических процессов и возникновению ранее не свойственным им техногенных процессов.

ГЕОРЕСУРСНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ – роль литосферы как поверхности, служащей средой обитания человека и других наземных организмов, а также как источник сырья, используемого людьми в различных целях. Эти два различных аспекта данной функции можно обозначить как «топический» и «вещественный».

ГЕОТЕХНОСФЕРА – преобразованная деятельностью человека часть литосферы, включающая в себя всю совокупность локальных техногенных геологических тел, техногенных геологических формаций и провинций.

ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ – процессы и явления, связанные с воздействием на организмы различных физических факторов, сила проявления которых определяется или зависит от строения земной коры.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ – совокупность химических процессов, протекающих в земной коре и оказывающих значимое влияние на состояние среды обитания живых организмов.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ – совокупность небиологических компонентов окружающей среды, формирующих местообитания живых организмов и определяющих степень пригодности участка земной поверхности для существования на нем людей.

ГЕТЕРОГЕННО-АГРЕГИРОВАННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – тела, содержащие включения (агрегации), отличающиеся по своему составу от основной массы тела.

ГЕТЕРОГЕННО-ЗОНАЛЬНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – тела, сформированные из отдельных участков (зон), каждая из которых отличается по своему составу и слагающие их материалы могут иметь различное происхождение.

ГЕТЕРОГЕННО-СТРАТИФИЦИРОВАННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – тела, толща которых состоит из нескольких различных слоев.

ГИДРООТВАЛ – техногенное тело, образующиеся путем намыва пульпы из отходов горной промышленности или грунта.

ГИДРОРАЗРЫВ ПЛАСТА – гидравлический разрыв пласта, формирование трещин в массивах газо-, нефте-, водонасыщенных и других горных породах под действием подаваемой в них под давлением жидкости.

ГИПЕРГЕНЕЗ – совокупность процессов химических и физических преобразования минералов и горных пород в верхней части земной коры и на её поверхности под воздействием атмосферно-климатических факторов.

ГЛУБИННЫЕ ИЛИ ПОДЗЕМНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – образование в удаленных от земной поверхности слоях земной коры, возникшие в результате целенаправленной человеческой деятельности или как ее побочный эффект.

ГОМЕОСТАЗ – способность системы самопроизвольно восстанавливаться при неблагоприятных внешних воздействиях, сохраняя постоянство своей структуры и внутренних условий.

ГОМОГЕННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – тела, обладающие относительно однородной структурой и составом по всему объему.

ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ – искусственные пустоты, создаваемые человеком толще земной коры (в большинстве случаев при добыче полезных ископаемых).

Примечание. Горные выработки, непосредственно сообщающиеся с поверхностью, называются открытыми, не выходящие на поверхность – подземными (доступ к ним осуществляется через штреки, шахты и штольни).

ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – техногенные геологические тела, образующиеся из отходов горнодобывающих и горно-обогатительных предприятий.

ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫЙ ЛАНДШАФТ – техногенный ландшафт, структура и формирование которого обусловлены деятельностью горнодобывающей и горно-перерабатывающей промышленности.

ГОРНЫЙ УДАР – внезапное быстропротекающее на определенном участке разрушение предельно напряженного пласта горных пород, которое может сопровождаться выбросом в выработанное пространство (подземную выработку, шахту и пр.) разрушенной горной массы с образованием ударной воздушной волны и проявлением сейсмического эффекта в результате мгновенного преобразования потенциальной энергии (внутренних напряжений), накопленной в массиве, в кинетическую.

Примечание. Горный удар может быть вызван нарушением целостности массива горных пород, вибрацией и другим техногенными факторами.

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – образования в составе земной коры, сформировавшиеся из отходов строительной деятельности.

ГРУНТ – слой земной коры, сформировавшийся на ее поверхности под воздействием естественных и техногенных факторов, который в процессе человеческой деятельности может быть перемещен в ее более глубокие горизонты.

ГУМУС – совокупность органических веществ в почве, возникших в результате естественного разложения остатков растительного и животного происхождения.

ДВУХФАЗНОЕ ТЕХНОГЕННОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ТЕЛО – техногенное тело, в котором присутствуют более или менее равномерно распределенные в твердом материале небольшие полости, заполненные либо жидкими, либо газообразными веществами.

ДЕГРАДИРУЮЩИЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – искусственные образования в литосфере, объем и масса которых закономерно сокращаются в силу естественных причин.

ДЕНУДАЦИЯ – совокупность процессов разрушения горных пород и их переноса экзогенными процессами в пониженные участки земной поверхности, где происходит их накопление (аккумуляция).

ДЕФЛЮКЦИЯ или **КРИП** (от англ. «creep» – ползти) – медленное сползание верхнего слоя относительно тонкого слоя почвы или грунта вниз по склону, которое, как правило, не затрагивает его основной массы.

ДЕФЛЯЦИЯ ИЛИ **ВЕТРОВАЯ ЭРОЗИЯ** – процесс разрушения поверхности (горной породы, грунта, почвы и иных естественных и искусственных образований) потоками воздуха (ветром).

ДЕФРОСТАЦИОННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – участки земной коры, в которых под воздействием человеческой деятельности происходит деградация (оттаивание) многолетней мерзлоты.

ДИАГЕНЕЗ – совокупность процессов преобразования рыхлых осадков в осадочные горные породы.

ДИНАМИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА – гравитационное воздействие на горные породы переменной силы. Если оно происходит с определенной частотой, то рассматривается как вибрационное воздействие.

ДЕБИТ СКВАЖИНЫ – это объем жидкости (нефти, воды) или газа, поступающий из скважины в единицу времени.

ДОБЫЧА ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО – совокупность технологических процессов по извлечению полезного ископаемого из недр.

ДОБЫЧНАЯ СКВАЖИНА – буровая скважина, предназначенная для вскрытия и эксплуатации месторождений нефти, природных газов и некоторых других видов полезных в жидкой или газообразной форме.

ДОЛГОСТРОЙ – брошенный строительный объект, на который застройщик ранее получил разрешительную документацию на его возведение.

ДОРОЖНАЯ ОДЕЖДА – многослойная конструкция в пределах проезжей части автомобильной дороги, воспринимающая нагрузку от автотранспортного средства и передающая её на грунт.

ДРЕДЖИНГ – совокупность гидротехнических работ, связанных с дноуглублением, намывом и перемещением большого объема донных грунтов.

ЖИДКОЕ ТЕХНОГЕННОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ТЕЛО – линза техногенной жидкости в земной коре.

ЗАБАЛАНСОВЫЕ ЗАПАСЫ – запасы полезного ископаемого, использование которых при достигнутом техническом уровне экономически нецелесообразно вследствие их малого количества, малой мощности залежей (пласта), низкого содержания ценных компонентов, особой сложности условий эксплуатации или необходимости применения очень сложных процессов переработки, но которые в дальнейшем могут быть объектом промышленного освоения.

ЗАБОЙ ШАХТЫ – стенка подземной горной выработки, в которой производится выемка полезного ископаемого или пустой породы. Термин забой также определяется как перемещающийся в намеченном направлении конец выработки, «рабочее пространство» у конца выработки.

ЗАКАНЧИВАНИЕ СКВАЖИНЫ – комплекс работ, осуществляемый на законченной бурением скважине, который может включать вскрытие продуктивных пластов, закрепление и перемещение зоны забоя, стимуляцию притока флюидов.

ЗАКОНСЕРВИРОВАННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – организованные техногенные тела, внесение в которых нового материала официально запрещено, а для невозможности осуществления таких действий созданы специальные барьеры или ограждения.

ЗАПЕЧАТАННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – возникшие в результате человеческой деятельности образования в составе литосферы, которые изолированы от воздушной среды асфальтобетонными и иными покрытиями.

ЗЕМНАЯ КОРА – внешняя твердая оболочка Земли, верхняя часть литосферы.

ЗОЛОШЛАКОВЫЕ ОТХОДЫ (золошлаковый материал) – смесь негорючих веществ, которые остались после сгорания топлива, включающая некоторое количество недожога (несгоревшего топлива).

Примечание. Шлаком считаются частицы размером более 0,25 мм. Более мелкая фракция обозначается как зола.

ЗОНЫ ТЕХНОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ В ЗЕМНОЙ КОРЕ – естественные массивы горных пород, подвергающиеся воздействию человеческой деятельности на уровне, еще не достаточном для принципиального изменения их изначальной структуры и свойств.

ИНДУСТРИЗЕМЫ – грунты, в основной массе состоящие из промышленных отходов (шлаков, золы, древесных опилок и т.п.) или остатков неиспользованного производственного сырья.

ИНТРУЗЕМЫ – грунты, являющиеся продуктом химической трансформации почвенного покрова.

ИСКУССТВЕННЫЙ ПЛЯЖ – один из видов сооружений, создаваемых для защиты берегов от размыва, а также в рекреационных целях.

ИСТОРИЧЕСКИЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – тела искусственного происхождения, включенные в структуру земной коры в отдаленный от настоящего момента период времени, и длительное время не вовлекаемые в сферу человеческой деятельности.

КАРСТ – процесс растворения (выщелачивание) компонентов горных пород подземными и поверхностными водами.

КОЛЛЕКТОР НЕФТИ И ГАЗА – горная порода, содержащая пустоты с такими фильтрационно-емкостными свойствами, которые обуславливают ее способность вмещать флюиды и обеспечивают их подвижность.

КОМПЛЕКСНОЕ ТЕХНОГЕННОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ТЕЛО – группа нескольких близкорасположенных, но отделенных друга от друга крупных тел, которые благодаря их функциональной взаимосвязанности можно рассматривать как единый объект.

КОМПОНЕНТ ТЕХНОГЕННОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ТЕЛА – вещество, входящее в состав этого тела.

КОМПОСТ – органическое удобрение, получаемое в процессе контролируемого микробиологического разложения органических

отходов растительного или животного происхождения в специально созданных для этого сооружениях (компостных ямах и др.).

КОНСТРУКТОЗЕМЫ – искусственно создаваемые почвоподобные образования, обладающие свойствами природных почв.

КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ – поверхностные слои земной коры, слагающие которые горные породы возникли под механическим и химическим воздействием воды, воздуха, солнечной радиации и жизнедеятельности живых организмов.

КРЕАТИВНАЯ ПАРАДИГМА ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ – мировоззренческая позиция, в соответствии с которой основным методом сохранения и улучшения экологической ситуации в современных условиях должно являться создание управляемых природно-технических систем, состояние которых искусственно регулируется с помощью различных инженерно-технических средств.

Примечание. Креативная парадигма допускает активное воздействие человека на природные процессы и их корректировку.

КРЕПЬ – сооружение, предназначенное для предотвращения обрушения окружающих горных пород в горных выработках, а также при строительстве шахт, тоннелей и иных подземных объектов.

КРИОЛИТОЗОНА (ЗОНА МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ) – совокупность участков верхней части земной коры с отрицательной температурой почв, отложений, горных пород, с наличием или возможностью существования подземных льдов.

КРИОТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – тела, возникающие при образовании в земной коре под влиянием человеческой деятельности массивов многолетнемерзлых пород.

КСЕНОБИОТИКИ – искусственно созданные вещества, которые не разлагаются микроорганизмами, и содержащиеся в них элементы не вовлекаются в биогеохимические циклы.

КУЛЬТУРНЫЙ СЛОЙ – верхний слой земной коры на территории человеческих поселений, сформировавшийся в виде наслоений из

продуктов жизнедеятельности людей в течение многолетнего (многовекового периода).

КУЛЬТУРОЗЕМЫ – почвы, подвергающиеся обработке с целью создания условий для произрастания определенных видов растений (их культивирования).

ЛИТОГЕНЕЗ – совокупность процессов образования и последующего изменения осадочной горной породы.

ЛИТОСФЕРА – твердая оболочка Земли, состоящая из земной коры и верхней части мантии.

ЛИТОФИЦИРОВАННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА – образования в земной коре, возникающие в результате действий по укреплению породных массивов (например, для создания устойчивых оснований для фундаментов зданий) путем нагнетания в них различных затвердевающих жидких субстанций, придающих им свойства скальных пород.

МАГАЗИНИРОВАНИЕ – захоронение веществ и материалов (главным образом отходов) в литосфере на определенный срок с запланированным их последующим извлечением.

МАССИВ ГОРНЫХ ПОРОД – участок земной коры, состоящий из совокупности различных горных пород, образовавшийся в определенных условиях без прямого или косвенного воздействия человеческой деятельности.

МЕГАЛОПОЛИС – урбосистема, охватывающая обширный регион, которая образуется в результате постепенного слияния расширяющихся территорий нескольких крупных городов (мегаполисов) и расположенных между ними населенных пунктов меньшего масштаба.

МЕЖПЛАСТОВЫЕ ПЕРЕТОКИ – движение флюидов через некачественно зацементированное (или не зацементированное) затрубное пространство скважины из пласта в пласт. Они также могут происходить при разрушении различных участков стенок скважины.

МНОГОЛЕТНЕМЁРЗЛЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ – породы, длительное время (не менее 2 лет подряд) содержащие лёд.

МОГИЛЬНИКИ ОТХОДОВ – сооружения, предназначенные для бессрочной изоляции опасных отходов, не подлежащих использованию (утилизации).

МОЛ – гидротехническое оградительное сооружение для защиты акватории порта от волнения, примыкающее одним концом к берегу. Волнолом, в отличие от мола, не примыкает к берегу.

МОЩНОСТЬ ТЕХНОГЕННОГО ТЕЛА – толщина образуемого им слоя.

МУЛЬДА ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ (мульда проседания) – понижение земной поверхности, возникшее в результате обрушения естественных или искусственно созданных подземных полостей или разрушения горных пород.

МУЛЬДА СДВИЖЕНИЯ – участок оседания и деформации рельефа земной коры, возникающий над областью сдвижения горных пород (зоны перемещения пластов).

НАВЕДЕННАЯ ТЕХНОГЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ – колебания земной коры, возникающие как следствие дестабилизации структуры природных массивов горных пород при осуществление различных видов человеческой деятельности. В данном случае техногенное воздействие и возникновение сейсмических явлений могут быть разделены значительным промежутком времени.

НЕДРА – доступные для добычи полезных ископаемых слои литосферы.

НЕФТЕЗЕМЫ (ПЕТРОЛЕУМНЫЕ ПОЧВЫ) – разновидность поллютоземов, содержащих значительное количество нефтепродуктов.

НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – техногенные геологические тела, образующиеся из отходов нефтедобывающих предприятий.

НЕФТЕШЛАМОВЫЕ АМБАРЫ – углубления в грунте обычно протяженностью не более 100 м, создаваемые около буровых скважин, в

которых размещаются отходы бурения: отработанные растворы с нефтью или без нее, измельченная горная порода, глина, вода, различные химические реагенты

ОБВАЛ – внезапное обрушение горных пород с потерей контакта со склоном, сопровождающееся дроблением и перемешиванием их материала и его хаотическим накоплением у подошвы склона.

ОБРАТНАЯ ЗАСЫПКА – заполнение свободного пространства в земной коре, которое образовалось в результате строительных работ (рытья котлована, траншеи, карьера, горной выработки).

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА – совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов.

ОПОЛЗЕНЬ – смещение горных пород вниз по склону без потери контакта между смещающимися и остающимися неподвижными пластами.

ОРГАНИЗОВАННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – крупные скопления вещества (в т.ч. отходов), целенаправленно вводимых в состав литосферы с определенной целью.

ОСЕДАНИЕ (ПРОСЕДАНИЕ) ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ – относительно медленное понижение ее уровня.

ОСЛОЖНЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИН – нарушения их работы, требующие принятия мер по их устранению.

ОСНОВАНИЕ ЗДАНИЯ (СООРУЖЕНИЯ) – массив земной коры, на которой размещается фундамент здания или сооружения.

ОСТЕКЛОВЫВАНИЕ (ВИТРИФИКАЦИЯ) РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ – метод предотвращения миграции радиоактивных отходов путем фиксации их в нерастворимой, химически инертной стеклоподобной матрице при сплавлении с ее материалом.

ОСТРОВНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – масштабные скопления намывтого или отсыпанного грунта, а также иных материалов, возникающие в процессе возведения искусственных островов.

ОТВАЛЫ – это насыпи из вскрышных и пустых пород, обычно возникающие при открытых горных выработках. В отличие от терриконов их протяженность, как правило, значительно превышает высоту.

ОТХОДЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И СНОСА – отходы (за исключением высоко- и чрезвычайно опасных) от сноса, разборки, реконструкции, ремонта или строительства зданий, сооружений, инженерных коммуникаций и промышленных объектов.

ПДК – предельно допустимая концентрация.

ПЕРВИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ – совокупность технологических процессов, осуществляющихся непосредственно после их добычи. Ее наиболее распространенными видами являются: сортировка на месте, дробление (измельчение), брикетирование, агломерация и обогащение (повышение содержания в сырье полезного продукта без существенного изменения его химического состава). К первичной переработке также относят очистку и осушку сырой нефти и природного газа.

ПЕРВИЧНАЯ ТЕХНОГЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ – распространение колебаний в земной коре результате непосредственного воздействия техногенных факторов.

ПИРС – гидротехническое причальное сооружение, выступающее в портовую акваторию и служащее для причаливания (швартовки) к нему судов с двух сторон.

ПЛАСТОВЫЕ ФЛЮИДЫ – жидкие и газообразные вещества (нефть, газ вода), аккумулирующиеся в поровом пространстве породы-коллектора.

ПЛЫВУН – насыщенная водой рыхлая горная порода или грунт, способные течь под действием собственной массы или под воздействием небольших нагрузок.

ПОБОЧНО-ПРОДУКТОВЫЕ (ОТХОДОСОДЕРЖАЩИЕ) ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – скопления вещества, включаемые человеком в состав земной коры в процессе целенаправленно

или спонтанного накопления в ней продуктов своей деятельности (отходов и др.).

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – возникшие в результате человеческой деятельности образования в составе литосферы, которые соприкасаются с воздушной средой.

ПОГЛОЩАЮЩИЕ (ПРИНИМАЮЩИЕ) ПЛАСТЫ – глубокие слои земной коры, в которые через специальные скважины закачиваются отходы в жидком виде или в форме специально подготовленной пульпы.

ПОДВОДНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – образования, на дне водных объектов, возникшие в результате целенаправленной человеческой деятельности и как ее побочный продукт, которые в процессе литогенеза включаются в состав земной коры.

ПОДПОВЕРХНОСТНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – образования, возникающие при покрытии поверхностных техногенных геологических тел слоем грунта или какого-либо материала.

ПОДТОПЛЕНИЕ – повышение уровня подземных (обычно грунтовых), вод, которое обусловлено возрастанием их объема их поступления в результате воздействия естественных или техногенных факторов, а также образованием препятствий на пути подземного стока.

ПОЛИГОН ХРАНЕНИЯ (РАЗМЕЩЕНИЯ) ОТХОДОВ – специальное сооружение, предназначенное для упорядоченного хранения, изоляции и обезвреживания отходов.

ПОЛИФАЗНОЕ ТЕХНОГЕННОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ТЕЛО – техногенное тело, слагающие которое вещества в сопоставимых количествах (объемах) одновременно присутствуют во всех фазах (твердой, жидкой, газообразной).

ПОЛЛЮТОЗЕМЫ – почвы и грунты, содержащие значительное количество загрязнителей.

ПОЛЬДЕР – осушенный участок моря, покрытый слоем плодородной почвы и защищенный от затопления специально созданными с этой целью гидротехническими сооружениями (плотинами, насыпями и др.).

ПОПОЛНЯЕМЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – возникшие в результате прямого или косвенного воздействия человеческой деятельности тела, масса и объем которых постоянно увеличиваются вследствие поступления в них новых количеств вещества.

ПОПУТНЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ – ценные минералы и горные породы, извлекаемые на земную поверхность при разработке месторождений, но не рассматриваемые как источник сырья, например, по причине незначительного количества или отсутствия востребованности в данный момент времени.

ПОРТ – участок берега моря или реки, обустроенный для стоянки судов и имеющий комплекс специальных сооружений для их обслуживания (причалы, пирсы и пр.).

ПОЧВА – природное тело, образовавшееся в результате преобразования поверхностных слоев горных пород под совместным воздействием воды, воздуха и живых организмов.

ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ – совокупность определенных видов почв и характерных для покрытых ими участков растений.

ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ – совокупность почв и почвогрунтов, покрывающих определенный участок земной поверхности.

ПОЧВЕННЫЙ ПРОФИЛЬ – совокупность закономерно сменяющихся слоев различного состава и текстуры, из которых состоит почвенный покров (природные почвы).

ПОЧВОГРУНТЫ – грунты, обладающие плодородием, что, как правило, обусловлено содержанием в них компонентов естественных почв (гумуса и др.).

ПРИБРЕЖНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – масштабные скопления намывтого или отсыпанного грунта, а также иных материалов, создаваемые с целью увеличения площади прибрежных территорий.

ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (ПТС) – любая совокупность природных, природно-техногенных и техногенных объектов, состояние и функционирование которых взаимосвязаны.

ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – образования в земной коре объемом не менее 100 м³, возникшие в результате совокупного взаимодействия естественных и техногенных факторов.

ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ ДОННЫЕ НАНОСЫ – скопления вещества, сформировавшиеся в результате процессов седиментогенеза, характер которых одновременно определялся как естественными факторами, так и человеческой деятельностью.

ПРОВАЛ – быстропротекающее обрушение горных пород, слагающих земную поверхность над какой-либо находящейся в ней полостью.

ПРОМЗОНА (ПРОМЫШЛЕННАЯ ЗОНА) – это территория, занятая преимущественно производственными объектами.

Примечание. Локальная промзона формируется вокруг одного крупного предприятия, а региональная промзона занимает обширную область, основным фактором формирования ландшафта которой являются промышленная деятельность, осуществляемая на многих объектах и ее последствия.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – тела, образующие искусственно созданные участки земной в результате образования масштабных скоплений отходов производственных предприятий.

ПРОСАДКА ЗДАНИЯ ИЛИ СООРУЖЕНИЯ – перемещение объекта строительства по вертикали вследствие уплотнения основания его фундамента или изменения его других механических свойств (например, в результате разжижения или суффозии грунтов). Происходящее по тем же причинам перемещение объекта, сопровождающееся отклонением от горизонтальной оси, обозначается как сдвиг.

ПРОХОДКА – совокупность производственных процессов, осуществляемых для образования искусственных подземных полостей (шахт, скважин, горных выработок, тоннелей).

ПУЛЬПА – смесь воды и грунта или измельченной горной породы, получаемая при земляных и горных работах и транспортируемая по трубопроводам гидравлическим способом.

ПУСТАЯ ПОРОДА – порода, извлекаемая при открытых или подземных горных работах, экономически целесообразное, полезное содержание минеральных веществ в которой не превышает заданного экономического показателя для данного разреза.

ПЫЛЕНИЕ – интенсивная дефляция, в результате которой в атмосферу за короткий промежуток времени поступает большое количество аэрозолей, состоящих из мелких частиц твердого вещества (пыли).

РАВНОМЕРНО-ГЕТЕРОГЕННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – тела, состоящие из нескольких структурных элементов, относительно равномерно распределенных по всему их объему этого тела.

РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – возникшие в земной коре в результате человеческой деятельности образования, содержащие радиоактивные вещества (материалы, конструкции), контакт с которыми опасен для здоровья.

РАЗЖИЖЕНИЕ ГОРНОЙ ПОРОДЫ (ГРУНТА) – процесс обводнения горной породы (грунта), сопровождающийся полной или частичной утратой их несущей способности и возникновением риска перехода в текучее состояние, т.е. приобретение ими плавунных свойств (образования плавуннов).

РАЗУБОЖЕННЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ – полезные ископаемые, качество которых в процессе добычи снизилось, иногда до уровня, при котором их дальнейшее использование экономически нецелесообразно.

РАЗУПЛОТНЕНИЕ ГОРНОЙ ПОРОДЫ (ГРУНТА) – процесс возникновения в горной породе (грунте) появлением значительного

количества небольших по своим размерам (часто микроскопических) пустот, которые могут заполняться рыхлым материалом или водой.

РЕЗОРТ – участок, использующийся для массового отдыха.

Примечание. Резорты могут быть неорганизованными (возникшими стихийно) и организованными (обустроенные территории рекреационного предназначения). В отличие от курорта, резорт может иметь небольшие размеры и не нести оздоровительной функции.

РЕКРЕАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ – общая характеристика возможности использования участка окружающей среды для отдыха людей.

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ – комплекс мер по восстановлению благоприятных условий в окружающей среде, подвергшейся техногенной трансформации.

РЕНОВАЦИЯ (РЕДЕВЕЛОПМЕНТ) – перестройка старых районов городов, нередко сопровождающаяся сменой функций, существовавших на них зданий и сооружений.

РЕПЛАНТОЗЕМЫ – грунты, которые образуются при отсыпке на земную поверхность материалов, способных создать условия для быстрого развития растительности.

РЕСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – участки земной коры структура (строение) и текстура (сложение) горных пород, в которых были изменены в результате механических или физико-химических внешних воздействий.

РУДЕРАЛЬНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ – совокупность растений, произрастающих на участках, подвергшихся глубокой техногенной трансформации (мусорных свалках, руинах зданий, скоплениях отходов и т.п.).

РУИНИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – находящиеся в земной коре или на ее поверхности скопления остатков (фрагментов) различных сооружений и крупных построек, возникшие в результате их разрушения.

СВАЛКА – местонахождение отходов, использование которых в течение обозримого срока не предполагается.

СВАЛОЧНОЕ ТЕЛО – масса отходов, заполняющих свалку.

СВАЛОЧНЫЙ ГАЗ – совокупность газов и паров, выделяющихся при разложении свалочных тел, образовавшихся преимущественно из твердых бытовых отходов (хозяйственно-бытовых техногенных тел). Его основными компонентами обычно являются метан и углекислый газ.

СВЯЗНОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД — свойство горных пород, обусловленное наличием связей между частицами и агрегатами, их слагающими.

СЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – отложения на дне водных объектов, образующиеся в результате осаждения техногенных взвесей и отходов (мусора).

СЕДИМЕНТОГЕНЕЗ – процесс образования осадков на дне водоема, из которых в процессе последующего литогенеза могут формироваться осадочные горные породы.

СЕКВЕСТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА – извлечение из растительности, поглощающей атмосферный углерод, углеподобных материалов с последующим их захоронением (тафономированием) в земной коре.

СЕЛЕВОЙ ПОТОК ИЛИ СЕЛЬ – движущийся со значительной скоростью поток грязи, камней и крупных обломков.

СЕЛИТЕБНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – участки земной коры, образующиеся в результате постепенной аккумуляции продуктов жизнедеятельности человека на территории его поселений.

СМЕРЗШАЯСЯ ГОРНАЯ ПОРОДА – первоначально рыхлая, связная или разрушенная горная порода, сцементированная льдом.

СОПРЯЖЕННОЕ ТЕХНОГЕННОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ТЕЛО – участок земной коры состав и/или свойства слагающих его горных пород подверглись значимой трансформации в результате миграции в них веществ из других техногенных образований.

СПОНТАННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – стихийно возникающие в литосфере скопления вещества техногенного происхождения.

СТАБИЛЬНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – искусственные образования в литосфере, состав и масса которых остается неизменной в течении неограниченно длительного времени.

СТАТИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА – постоянное воздействие веса сооружений на расположенные под ними горные породы.

СТВОЛОВЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – возникшие в земной коре в процессе человеческой деятельности образования, которые простираются от поверхности земли до ее глубоких слоев, пронизывая толщу горных пород на значительном протяжении.

СТРАТИГРАФИЯ – геологическая дисциплина, изучающая возрастные соотношения комплексов горных пород (геологических тел) в земной коре.

СТРУКТУРА (СТРОЕНИЕ) ГОРНОЙ ПОРОДЫ – характеристика размера, формы и особенностей взаимного соединения (срастания) слагающих ее минералов.

СТРУКТУРНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ТЕХНОГЕННОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ТЕЛА – любая морфологически обособленная частица техногенного тела размером менее 0,1 м³.

СУБСТАНЦИЯ – вещество (совокупность веществ) неопределенного состава, но обладающее комплексом известных физических и/или химических свойств (например, жидкая субстанция).

СУБСТРАТ – в монографии данный термин используется для обозначения поверхности (поверхностного слоя) различных твердых тел, которая может служить основой для каких-то процессов (например, развития на его поверхности растений или микробиологического разложения составляющих его органических веществ).

СУКЦЕССИЯ – многолетний поэтапный процесс самопроизвольного формирования естественной экосистемы.

СУФФОЗИЯ – процесс механического выноса частиц горных пород потоком подземных вод.

ТАМПОНАЖНЫЙ РАСТВОР – затвердевающий водный раствор на основе вяжущего материала или смеси материалов (например, цементно-глинисто-песчаный раствор – ЦГПР), используемый для закрепления несвязных грунтов, уплотнения пустот и трещиноватых пород.

ТАФОНОМИРОВАНИЕ – захоронение веществ и материалов (главным образом отходов) в литосфере на неограниченное время.

ТВЕРДОЕ ТЕХНОГЕННОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ТЕЛО – тело, в котором вещество в твердой фазе составляет не менее 90% массы.

ТВЕРДЫЙ СТОК – масса взвешенных мелкогазмерных частиц твердого вещества, переносимое рекой через какой-то ее участок (створ) за определенное время.

ТЕКСТУРА (СЛОЖЕНИЕ) ГОРНОЙ ПОРОДЫ – характеристика ее неоднородности, проявляющаяся в форме и взаимном расположении (ориентации) агрегатов ее частиц и пустот.

ТЕРРИКОНЫ (ТЕРРИКОНИКИ) – насыпи из твердых отходов, имеющие конусообразную форму и возникающие при складировании отходов на ограниченном пространстве. Обычно терриконы возникают при закрытом способе добычи полезных ископаемых. Их высота сопоставима с протяженностью по горизонтали.

ТЕРМОКАРСТ (ТЕРМОПРОСАДКА) – вытаивание по какой-либо причине слоёв подземного льда в вечномёрзлой толще. На участке термопросадок могут возникать провалы поверхности земли.

ТЕРМОТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – участки земной коры, трансформированные при целенаправленном (например, подземной газификации угольных пластов) или непреднамеренном повышении температуры недр (например, при пожарах в подземных выработках).

ТЕХНОГЕНЕЗ – процесс трансформации окружающей среды, обусловленный прямыми и косвенными воздействиями различного

характера, связанными с функционированием отдельных хозяйствующих субъектов и их комплексов, а также с существованием бесхозных, недействующих техногенных объектов.

ТЕХНОГЕННАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА – возникшее в процессе техногенеза литосферы скопление вещества объемом от 10 м^3 до 100 м^3 .

ТЕХНОГЕННАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ФОРМАЦИЯ – комплекс из нескольких морфологически и/или функционально связанных техногенных геологических тел.

ТЕХНОГЕННАЯ ГОРНАЯ ПОРОДА – скопление вещества в форме агрегатов более или менее постоянного состава и строения, включающих один или несколько техногенных минералов или полностью состоящих из них.

ТЕХНОГЕННАЯ МИГРАЦИЯ – потоки химических элементов и их соединений, возникновение которых прямо или косвенно обусловлено деятельностью человека.

ТЕХНОГЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ – возникновение колебаний земной коры, прямо или косвенно связанный с человеческой деятельностью.

Примечание. Различают первичную и наведенную техногенную сейсмичность.

ТЕХНОГЕННОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ – обособленное техногенное образование в земной коре объемом $0,1 \text{ м}^3$ до $1,0 \text{ м}^3$.

ТЕХНОГЕННОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ТЕЛО – любое длительно существующее в земной коре или на ее поверхности скопление вещества, возникшее как результат целенаправленной человеческой деятельности или как ее побочный продукт, и сопоставимое по своим масштабам с естественными геологическими телами.

Примечание. Минимальный объем техногенного тела составляет 100 м^3 , а наименьший срок сохранения 50% своей массы (без целенаправленных усилий человека по ее ликвидации) – не менее 10 лет.

ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОВИНЦИИ – регионы, в которых процессами техногенеза охвачены значительные по своим масштабам участки литосферы.

ТЕХНОГЕННАЯ ГЕОХИМИЧЕСКАЯ АНОМАЛИЯ – это значительное повышение или понижение в окружающей среде содержания какого-либо химического элемента по сравнению с его природным фоном (содержанием, характерным для данного участка), прямо или косвенно связанное с человеческой деятельностью.

ТЕХНОГЕННЫЕ ДОННЫЕ НАНОСЫ – скопления вещества, которые образовались в результате осаждения в водных объектах мелкоразмерных частиц, возникших в результате человеческой деятельности.

ТЕХНОГЕННЫЕ КРИОПЭГИ – жидкие техногенные геологические тела с постоянно отрицательной температурой, возникающие в результате накопления в многолетнемерзлых массивах горных пород и грунтах высокоминерализованных промышленных и бытовых стоков.

ТЕХНОГЕННОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ – техногенное и природно-техногенное геологическое тело, содержащее официально зафиксированные запасы полезных ископаемых, добыча которых может принести финансовую выгоду и стать экономически целесообразной с учетом тенденций развития новых технологий в обозримой перспективе.

ТЕХНОГЕННЫЕ ТЕЛА СМЕШАННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ – литосферные образования, одни части которых формируются как организованные техногенные тела, а другие как спонтанные техногенные тела.

ТЕХНОГЕННЫЙ БЛОК – обособленное техногенное образование в земной коре объемом от 1,0 м³ до 10,0 м³.

ТЕХНОГЕННЫЙ ГЕОХИМИЧЕСКИЙ БАРЬЕР – это участок, где происходит резкое уменьшение интенсивности техногенной миграции.
Примечание. Функцию подобного барьера гут выполнять как естественные геологические тела, так и искусственно созданные.

ТЕХНОГЕННЫЙ МИНЕРАЛ – скопление вещества, однородное по своему химическому составу и характеру структуры, образовавшееся в результате непосредственного или косвенного воздействия человеческой деятельности.

ТЕХНОЗЕМЫ – грунты, образуются в результате механической трансформации земной коры.

ТЕХНОКРИОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – образования, возникающие при искусственном замораживании грунтов и горных пород, а также при понижении температуры (ниже 0°C) участков земной коры, соприкасающихся с объектами, в которых с помощью специального оборудования постоянно поддерживается отрицательная температура.

ТРАНСФОРМИРУЮЩИЕСЯ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – искусственные образования в литосфере, состав которых претерпевает существенные изменения в результате физико-химических и микробиологических процессов, но это не приводит к потере значительной части их массы.

ТРЕЩИНОВАТОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД – совокупность в их массиве трещин различного происхождения и разных размеров.

ТРИГГЕР – фактор, провоцирующий развитие процесса, явления или возникновение определенной ситуации.

ТЮБИНГ – элемент крепи подземных сооружений (шахтных стволов, горных выработок, туннелей) в виде полукольца из железобетона, чугуна, или стали.

УПОРНАЯ ПРИЗМА – сооружение в форме насыпи, дамбы или железобетонной конструкции, ограничивающие гидроотвалы или обеспечивающие устойчивость склонов.

УРБАНИЗИРОВАННАЯ ТЕРРИТОРИЯ – обширный участок земной поверхности, на значительной части которого размещается жилищная застройка «городского типа», объекты инфраструктуры, необходимые для обеспечения нормальной жизнедеятельности населения (транспортные и

иные коммуникации, полигоны хранения отходов, аэродромы и пр.), а также производственные предприятия (промышленные зоны).

УРБАНИЗАЦИОННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – широкий спектр образований, в большинстве случаев, существующих на поверхности земной коры и близи от нее, возникновение которых связано с возведением и функционированием городской застройки (урбосистемы).

УРБАНИЗАЦИЯ – расширение площади городских территорий и промышленных зон, т.е. участков земной поверхности, подвергшихся глубокой трансформации с целью обеспечения компактного проживания больших масс людей и их крупномасштабной совместной деятельности.

УРБАНОЗЕМЫ (урбоземы) – различные виды грунтов и техногенно-трансформированных почв (почвогрунты, почвоподобные образования), сформировавшихся на территории городов в качестве прямого и побочного продукта человеческой деятельности.

УРБОСИСТЕМА – природно-техническая система, складывающаяся на участках компактного проживания большого количества людей (городской застройки).

УСТЬЕ ШАХТНОГО СТВОЛА – его верхний участок, идущий от земной поверхности до коренных пород.

ФАЦИЯ – осадки (или горные породы), возникающие в определённой физико-географической обстановке и отличающиеся от состава и условий образования смежных одновозрастных пород.

ФЛЮИД – жидкость или газ, способный перемещаться в земной коре под действием приложенной силы.

ФРАГМЕНТАРНОЕ ТЕХНОГЕННОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ТЕЛО – совокупность значительного количества относительно небольших по объёму отдельных скоплений продуктов человеческой деятельности, сосредоточенных на определённой площади, которая в целом может рассматриваться как единый участок техногенно трансформированной среды.

ФРЕКИНГОВЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – участки земной коры, трансформированные в результате создания в них гидроразрывов (применения технологии фрекинга для извлечения жидких и газообразных полезных ископаемых).

ФУМАРОЛЫ – небольшие отверстия и трещины на земной поверхности, через которые происходит выделение горячих паров и газов.

Примечание. Естественные фумаролы нередко встречаются на склонах и у подножия действующих вулканов. При горении терриконов угольных шахт и выгорании подземных выработок горючих ископаемых могут возникать техногенные фумаролы.

ФУНДАМЕНТ – несущая конструкция, нижняя часть зданий и сооружений, которая воспринимает все нагрузки от их вышележащих частей и распределяет их по основанию.

ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ – сооружение, предназначенное для гидравлической укладки (намыва) вскрышных и пустых пород, продуктов первичной переработки полезных ископаемых и их хранения.

ХИМИЗМ – химическая природа (обобщенное представление о химическом характере) какого-либо вещества, явления, процесса или среды.

ХИМИЧЕСКИ-ОПАСНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – возникшие в земной коре при осуществлении человеческой деятельности скопления, содержащие токсичные вещества, контакт с которыми опасен для здоровья.

ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – тела в составе земной коры, формирующиеся из скоплений отходов, продуцируемых населением (главным образом из свалочных тел).

ЦЕЛОСТНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – тела, объем которых и не разделен на отдельные части.

ШАХТНОЕ ПОЛЕ – участок, отводимый горнодобывающему предприятию для освоения месторождений полезных ископаемых методом подземных выработок. Обычно на шахтном поле создается комплекс

шахтных стволов, соединяющихся под землей системой штреков и подземных выработок.

ШАХТНЫЕ ВОДЫ – воды, поступающие в подземные горные выработки из подрабатываемых водоносных горизонтов и иных источников.

ШАХТНЫЙ СТВОЛ – вертикальная, реже наклонная выработка, имеющая непосредственный выход на земную поверхность и предназначенная для обслуживания подземных работ.

ШЛАК (в металлургии) – побочный продукт или отход от производства металла, который после очистки от остатков ценных компонентов (обеднения) может захораниваться в форме отвалов.

ШЛАКОХРАНИЛИЩЕ – разновидность хвостохранилища, формирующегося из отходов металлургического производства, главным образом, шлаков.

ШЛАМ – мелкоразмерные частицы отходов первичной переработки полезных ископаемых.

ШЛАМОХРАНИЛИЩЕ – сооружение, предназначенное для гидравлической укладки (намыва) и хранения (тафономирования, магазинирования) шламов.

ШТРЕК – горизонтальная (с углом наклона не более 3°) подземная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на поверхность.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ЛИТОСФЕРЫ – процессы, протекающих в земной коре, которые влияют на экологическую ситуацию, складывающуюся на ее поверхности. Выделяют георесурсную, геодинамическую, геохимическую и геофизическую экологическую функцию литосферы.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ИМИДЖМЕЙКИНГ – работа по созданию позитивного экологического имиджа объекта (деятельности, организации, проекта, политика), т.е. целенаправленное формирование в массовом сознании его облика, как экологически безопасного или способного улучшить состояние окружающей среды.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГУЛЯТОР – инженерно-технический объект, работа которого обеспечивает управление состоянием природно-технической системы.

Примечание. Экологическим регулятором может являться комплекс скоординировано работающих инженерно-технических объектов, а также систематически проводимые мероприятия (вывоз мусора и т.п.).

ЭКРАНОЗЕМЫ – грунты, возникающие при изоляции земной поверхности асфальтобетонными покрытиями.

ЭМАНАЦИЯ – выделение из техногенных тел газообразных продуктов и паров, в т.ч. образовавшихся в результате трансформации (разложения) слагающих их материалов.

ЭМИССИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ – выброс в атмосферу веществ, которые могут оказать негативное воздействие на окружающую среду.

ЯДЕРНОВЗРЫВНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА – разновидность военных техногенных тел, которая возникает в результате подземных испытаний ядерного оружия.

Научное издание

Антонина Львовна Суздалева

**«ВТОРАЯ ГЕОЛОГИЯ» –
НАУКА О ТЕХНОГЕННЫХ ТЕЛАХ ЛИТОСФЕРЫ**

Утверждено к печати Научным советом ООО «Альфамед 2000»

Подписано в печать 25.03.2022 г.
Формат 60×80 1/16. Бумага офсетная
Печать офсетная
Печ. л. 23 Тираж 500 экз.

Художественно-графическое оформление Анны Хирш
(Anna Hirsch, Göttingen)

Издательство "РадиоСофт"
109125, г. Москва, ул. Саратовская, 6/2
E-mail: mail@radiosoft.ru
Web-site: www.radiosoft.ru

ISBN 978-5-93274-326-3

© Суздалева А.Л., 2022