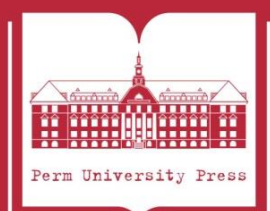


ПЕРМСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

И. С. Копылов

ПРИКЛАДНАЯ ГЕОЭКОЛОГИЯ



Пермь 2023

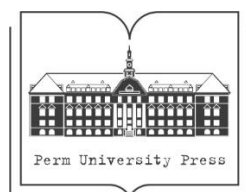
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

И. С. Копылов

ПРИКЛАДНАЯ ГЕОЭКОЛОГИЯ

*Допущено методическим советом
Пермского государственного национального
исследовательского университета в качестве
учебного пособия для студентов, обучающихся
по направлению подготовки магистров
«Экология и природопользование»*



Пермь 2023

УДК 502/504(075.8)
ББК 26.3я73
К659

Копылов И. С.

К659 Прикладная геоэкология [Электронный ресурс] : учебное пособие / И. С. Копылов ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2023. – 15,2 Мб ; 247 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/Kopylov-prikladnaya-geoekologiya.pdf>. – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-4085-0

Учебное пособие содержит теоретический курс лекций и задания для практических работ по дисциплине «Прикладная геоэкология», направленные на формирование у студентов научной основы знаний по междисциплинарной геоэкологии для компетентного решения научных и практических геоэкологических задач.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки магистров «Экология и природопользование нефтегазового комплекса» (специальность 05.04.06 Экология и природопользование), а также будет полезно аспирантам, обучающимся по профилю «Геоэкология».

УДК 502/504(075.8)
ББК 26.3я73

*Издается по решению ученого совета географического факультета
Пермского государственного национального исследовательского университета*

Рецензенты: научно-исследовательское, проектное и производственное предприятие по природоохранной деятельности «Недра» (ген. директор, д-р геол.-минерал. наук, профессор **В. В. Середин**);
зам. директора по научно-орг. вопросам Института геологии и геохимии им. ак. А. Н. Заварицкого УрО РАН, д-р геол.-минерал. наук, доцент **В. А. Наумов**

ISBN 978-5-7944-4085-0

© ПГНИУ, 2023
© Копылов И. С., 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ТЕОРЕТИЧЕСКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОЭКОЛОГИИ КАК МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО НАУЧНОГО НАПРАВЛЕНИЯ.....	9
1.1. Анализ теоретических основ геоэкологии, экологической геологии и геодинамики (исторические предпосылки, основные понятия).....	9
1.2. Научное содержание геоэкологии и ее раздела – прикладной геоэкологии..	19
2. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ...	26
2.1. Основные виды методов геоэкологических исследований.....	26
2.2. Методы наук о Земле, используемые для получения геоэкологической информации.....	30
2.3. Специализированные геоэкологические исследования.....	42
2.3.1. Геоэкологическое и эколого-геологическое картографирование.....	42
2.3.2. Геоэкологический мониторинг.....	60
2.3.3. Геоэкологическое моделирование.....	69
2.3.4. Геоэкологическое прогнозирование.....	70
2.4. Общая структура геоэкологических исследований.....	85
3. ОСНОВНЫЕ ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СПЕЦИФИКУ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ.....	89
3.1. Основные принципы определения эколого-геологических условий (обстановки).....	89
3.2. Основные природные факторы, определяющие специфику эколого-геологической обстановки.....	93
3.3. Геологические и другие природные процессы, их воздействие на геологическую среду.....	94
3.3.1. Систематика геологических и других природных процессов по экологическим последствиям.....	94
3.3.2. Эколого-геодинамические факторы, геодинамические активные зоны и их роль в оценке экологического состояния геологической среды..	97
3.3.3. Характеристика катастрофических, опасных и неблагоприятных геологических процессов.....	109
3.4. Основные техногенные факторы, определяющие специфику эколого- геологической обстановки и их воздействие на геологическую среду.....	142
3.4.1. Характеристика общего техногенного воздействия на геологическую среду.....	143
3.4.2. Промышленные, урбано-промышленные и сельскохозяйственные комплексы, как источники техногенного воздействия на геологическую среду.....	151
3.4.3. Оценка техногенного воздействия на геологическую среду при добыче полезных ископаемых.....	155

4. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПРИРОДНЫХ И УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ.....	168
4.1. Научные подходы к обоснованию, ранжированию и классифицированию современного экологического состояния природно-геологической среды и ее интегральной оценке.....	168
4.2. Концептуальные основы и общая методология региональных геоэкологических исследований, картографирования и оценки.....	170
4.3. Принципы и критерии интегральной оценки современного экологического состояния природно-геологической среды.....	177
4.4. Интегральная оценка современного экологического состояния геологической среды (на примере природно-урбанизированной территории Приуралья и Урала – Пермского края РФ).....	180
4.4.1. Основные геоэкологические проблемы.....	180
4.4.2. Методика интегральной оценки современного экологического состояния природно-геологической среды.....	185
4.4.3. Геоинформационное картографирование и основные геоэкологические карты, отражающие современное состояние природно-геологической среды.....	192
ВОПРОСЫ ПО КУРСУ	205
ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ ПО КУРСУ	206
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	211
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ.....	228
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	245

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина *«Прикладная геоэкология»* направлена на формирование у студентов-магистрантов представлений об основных проблемах и задачах геоэкологии – междисциплинарного научного направления, объединяющего исследования состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов; изучение изменений жизнеобеспечивающих ресурсов геосферных оболочек под влиянием природных и антропогенных факторов, их охрана, рациональное использование и контроль с целью сохранения для нынешних и будущих поколений людей продуктивной природной среды; умение анализировать многообразную экологическую информацию о геоэкологических условиях и использовать современные методы обработки и интерпретации экологической информации при проведении научных и производственных исследований; оформление результатов в соответствии с требованиями и их презентации с использованием современных медиатехнологий [79].

Объект исследований геоэкологии – среда обитания человека и организмов биосферы, т.е. окружающая среда, изменяющаяся под воздействием природных и техногенных факторов на локальном, региональном и глобальном уровнях. Основным объектом изучения геоэкологии является *геологическая среда (или природно-геологическая среда)* – комплексная гетерофазная система биосферы, формирующаяся в результате геологически длительного взаимодействия земной коры с внутренними геосферами Земли, а также с гидросферой, атмосферой и живыми организмами. Она обеспечивает существование и эволюцию растительного, микробиологического и животного мира, включая человека.

Предметом дисциплины являются теоретические, методологические, методические и прикладные аспекты и проблемы геоэкологии.

Целью дисциплины является получение теоретических и методических знаний в области прикладной геоэкологии, формирование у студентов геоэкологических научно-практических представлений о взаимодействии человека с окружающей средой; формирование определенного состава компетенций для подготовки к профессиональной и научной деятельности, умения самостоятельного поиска и аналитической обработки информации для обоснования постановки проблем, формулировки задачи и выбора методов исследований разного типа (теоретического, методического, прикладного), включая комплекс-

ные и междисциплинарные исследования по проблемам прикладной геоэкологии; формирование способности использовать современные методы обработки и интерпретации экологической информации при проведении научных и производственных исследований.

Цели освоения дисциплины соответствуют целям основной образовательной программы для направления магистратуры 05.04.06. «Экология и природопользование» двух профилей «Устойчивое развитие и охрана природы» и «Экология и природопользование нефтегазового комплекса» [79].

Задачи курса

1. Формирование навыков самостоятельной научно-исследовательской деятельности, требующей высшего образования в магистратуре в выбранном направлении.

2. Формирование умений:

- проведения самостоятельных творческих исследований по анализу основных тенденций развития теории и практики геоэкологии в России и за рубежом;
- получения, обработки, интерпретации экологической информации современными методами прикладной геоэкологии;
- по выполнению анализа и обобщению результатов научных и производственных исследований с использованием современных достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области геоэкологии.

3. Формирование заявленных компетенций в процессе подготовки магистрантов, имеющих современное представление о геоэкологии в целом и ее основных разделах и направлений; системном геоэкологическом анализе, правильном оформлении результатов исследований с соблюдением принятых этических норм и их презентации для всеобщего обсуждения.

Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в вариативную часть Блока «М.1» образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям): направление 05.04.06 «Экология и природопользование»; направленность «Экология и природопользование нефтегазового комплекса».

Требования к уровню освоения дисциплины

Дисциплина читается после изучения дисциплин математического, естественнонаучного и профессионального цикла бакалавриата, специалитета (Геоэкология, География, Геология, Биogeография, Почвоведение, Биогеоценология, Основы природопользования, Учение о сферах Земли, Техногенные систе-

мы и экологический риск, Экологический мониторинг, Геоинформационные технологии в природопользовании, Экологическое картографирование, Математические методы в экологии), поэтому студенты оказываются достаточно хорошо подготовленными к ее усвоению.

В общей системе географического и экологического образования данная дисциплина относится к числу методологических дисциплин, составляющих основу фундаментального геоэкологического образования и имеющих большое прикладное значение. Знания, полученные при изучении дисциплины, могут быть востребованы в практической деятельности при проведении комплексного природопользования и недропользования, разномасштабных геоэкологических исследованиях и картографировании, мониторинге окружающей среды, научной и производственной деятельности.

В результате изучения дисциплины «Прикладная геоэкология» студент должен:

- **знать** теоретические основы прикладной геоэкологии, структурно-функциональные особенности окружающей среды, как сферы жизнедеятельности человечества;

- **уметь:**

- применять геоэкологические знания и навыки в субъектно-объектной деятельности;

- использовать современные методы геоэкологических исследований и методы обработки и интерпретации экологической информации;

- критически анализировать многообразную экологическую и техно-природную информацию;

- проводить качественную и количественную интерпретацию экологической информации;

- выполнять интегральную оценку геоэкологического состояния природных и урбанизированных территорий;

- **владеть:**

- методами системного анализа геоэкологических материалов и оценки состояния окружающей среды в пространственно-временной конкретности;

- навыками обработки комплексной геоэкологической и аэрокосмической информации с применением современных геоинформационных технологий.

Структура в соответствии с учебным тематическим планом и Программой дисциплины

Учебное пособие включает 4 раздела теоретического курса. В основе теоретического курса лежат материалы многолетних исследований автора, изложенные в монографиях и научных статьях, а также другая научная, методическая и учебная литература. Особенно широко использованы материалы ПГНИУ, МГУ, ВСЕГЕИ, ВСЕГИНГЕО и др.

Разделы: 1. Теоретико-методологические основы геоэкологии (раздел 1 Программы), 2. Методы геоэкологических исследований (раздел 2 Программы) и 4. Геоэкологический анализ и оценка природных и урбанизированных территорий (раздел 3 Программы) в соответствии с учебным тематическим планом и Программой дисциплины [79] изучаются студентами на лекционных и практических занятиях. Раздел 3. Природные и техногенные факторы формирования геоэкологических условий изучается студентами самостоятельно и частично – на практических занятиях.

В конце теоретического курса приведены основные вопросы, которые студенты должны знать для успешного прохождения теоретического теста.

Практический блок составляют указания к выполнению практических работ, регламентирующих выполнение практических заданий по контрольным точкам, включающих порядок проведения работ (региональный геоэкологический анализ и оценка территорий и объектов), и их оформление.

В конце учебного пособия приведен перечень основных понятий и список сокращений.

1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОЭКОЛОГИИ КАК МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО НАУЧНОГО НАПРАВЛЕНИЯ

1.1. Анализ теоретических основ геоэкологии, экологической геологии и геодинамики (исторические предпосылки, основные понятия)

Современная теоретическая и методологическая **концепция геоэкологии и экологической геологии** сформирована пока еще недостаточно четко, отсутствует общепринятый подход к определению задач и объектов изучения. Острые дискуссии вызывают вопросы теоретического характера, касающиеся геоэкологии – научного направления, активно развивающегося на стыке ряда фундаментальных наук – экологии, биологии, географии, геологии, их многочисленных направлений и прикладных наук – и поэтому затрагивающего интересы ученых и специалистов многих отраслей и специальностей.

Преобладают два основных направления геоэкологии – с позиции географии и геологии, поэтому в ее структуре фактически существует два основных раздела – **экологическая география и экологическая геология**, имеющих много общего по объектам и предметам изучения.

Необходимо кратко рассмотреть этот аспект и выработать наиболее приемлемую позицию в геоэкологии, методологические задачи которой формируют концептуальную основу региональных геоэкологических исследований, картографирования и рационального природопользования, что является высокоактуальным для недропользования в различных типах регионов – нефтегазодобывающих, горнодобывающих, индустриально-промышленных территорий.

Как известно, термин «экология» был введен Э. Геккелем (1869) в биологии для обозначения общей науки об отношении организмов к окружающей среде (БСЭ, 3-е изд. 1978. Т. 29), когда биологов интересовало в основном влияние окружающей среды на живые организмы.

С середины XX в., как отмечает Н. М. Фролов (1991) [186], ситуация изменилась на противоположную, и сама окружающая среда оказалась под угрозой живых организмов; как результат обратной связи – проблематичность продолжения разумной жизни на планете Земля.

По мнению Ю. Одума (1975) [136], экология сейчас занимает особое место в ряду фундаментальных наук и вышла за пределы собственно биологии. Произошло перерастание биологической «малой» экологии в «большую» экологию, или биологию окружающей среды. В. Д. Федоров и Т. Г. Гильмонов (1980) [183] считают, что современная экологическая парадигма основывается на концепции экосистем, которая является главным объектом общей экологии,

а предметом являются законы формирования структуры, функционирования, развития и гибели экосистем.

Существует уже более 120 определений экологии, более 1000 наук и экологических направлений, которые охватывают все области знания человечества. Существуют самые различные подразделения экологии по отношению к предметам, объектам, методам, способам изучения. Приводятся определения экологии как комплекса (системы) научных дисциплин, связанного с изучением и оценкой взаимоотношений общества и природы и имеющего конечной целью их оптимизацию (гармонизацию).

В этом комплексе Г. А. Воронов и М. А. Манташев (1999) [17] выделяют три основных направления: общую (в том числе и глобальную экологию), экологию человека и отраслевую экологию (биоэкологию, географическую экологию и геологическую экологию).

Н. Ф. Реймерс (1994) [144] в структуре современной экологии выделяет четыре основных подразделения: биоэкологию, геоэкологию, экологию человека, социальную экологию и прикладную экологию; при этом в рамках геоэкологии выделяется экология сред, ландшафтов, географических подразделений, экогеология и экогеоморфология.

И. В. Круть (1978) [118] отмечает недостаток биоэкологического направления – чрезмерное доминирование биологического аспекта, ведущее к пренебрежению геосистемами, которые неправильно отождествляются с экосистемами, и ставит вопрос о необходимости построения **общей экологической теории**, которая явится синтезом разнородного научного знания (с центральной геокомпонентой), причем в беспрецедентном для специальных наук масштабе и виде. Очевидно, центральной геокомпонентой является литосфера. В качестве центрального метода исследований выделяется **системный подход** (направление методологии научного познания, в основе которого лежит рассмотрение объекта как системы, целостного комплекса взаимосвязанных элементов).

Как указывает В. Н. Быков (1999) [9], все типы функций литосферы в той или иной мере связаны с экологическим прошлым и настоящим Земли. Аналогии в биологических и геологических системах, подтверждая единство материального мира, указывают на общие черты эволюционного развития.

Геологическое направление в экологии можно связать с **учением о биосфере** В. И. Вернадского (1926), базирующимся на геохимии, в основе которого лежат законы функционирования системы «живые организмы (живое вещество) – среда обитания», опирающиеся на историко-геологический анализ развития живой оболочки Земли в процессе ее эволюции (Вернадский, 1989) [14].

Впервые предложенный К. Троллем (1939) термин «геоэкология» как «экология ландшафтов» поддерживается некоторыми современными географами.

ми в более широком понимании, включающем в объекты исследования, кроме природных, антропогенные ландшафты (В. В. Братков, Н. И. Авдиенко, 2005), а также геологическую среду (В. Б. Сочава, 1978 [152]; С. П. Горшков, 1992 [24]). Формируется новое научное направление в трудах географов (экологическая география на основе системно-географического подхода), анализирующих географические природные экосистемы, закономерности и типологические модели в географической среде, биосфере и социосфере (А. И. Базилевич и др., 1986 [2], С. Б. Девяткова и др., 1988 [28]; С. А. Двинских и др., 1988, 1990, 2002 [26, 27]).

Кроме этого, существует много других позиций, определяющих место геоэкологии как в географии, так и в геологии. Н. М. Фролов (1991, 1998) [185, 186] отмечает, что экология – это наука о взаимодействии живого с окружающей средой, поэтому она выходит за пределы биологических наук, становится междисциплинарной. В понятие об окружающей среде входит не только живое (объект биологии), но и неживое (объект наук о Земле). В связи с этим экологию как одну из фундаментальных наук логично разделить на две части: «часть, в которой изучаются последствия взаимодействия живого с окружающей средой на живое (биоэкология), и часть, в которой изучаются последствия взаимодействия живого с окружающей средой на неживое (геоэкология)».

Начиная с 1989 г., экологическая проблематика активно развивается в работах геологов (Е. А. Козловский, В. И. Осипов, В. Т. Трофимов, Д. Г. Зилинг, Г. С. Вартанян, Н. М. Фролов, К. И. Сычев, А. Н. Павлов, В. Н. Островский, Л. А. Островский, В. В. Куриленко, В. А. Королев, В. Н. Быков, А. Я. Гаев, О. Н. Грязнов и др.). Государственное переустройство привело также к реформированию федеральной геологической службы (созданию министерства охраны окружающей среды, затем – природных ресурсов, затем – природных ресурсов и экологии), в которой стали меняться приоритеты – от безудержной эксплуатации минерального сырья к более разумной природопользовательской политике.

Прошел ряд конференций, посвященных проблемам геоэкологии и природопользования, большое количество публикаций посвящено экологическим проблемам гидрогеологии, инженерной геологии, геохимии, геофизики и других геологических наук. Не вдаваясь в исторический экскурс этих работ, можно отметить, что многие исследователи отмечают возникновение на стыке геологии и экологии нового научного направления – геоэкологии. Пока еще не оформлена достаточным образом ее теоретическая и методологическая концепция, отсутствует общепринятый подход к определению задач и объектам ее изучения, однако сделаны значительные шаги в этом направлении. Приведем несколько определений геоэкологии с позиции геологов, которые, на наш

взгляд, наиболее характерно отражают их единство и различия и которые можно условно разделить на несколько подходов: «геобиосферный подход» (Е. А. Козловский, 1989), «литосферный подход» (К. И. Сычев, 1991), «геосферный подход» (В. И. Осипов, 1997) и «экосистемный подход» (В. Т. Трофимов, Д. Г. Зилинг, 1994, 1996, 1997, 2000), «литогeosферный» (В. Н. Быков, 2000). Е. А. Козловский (1989) [41] под геоэкологией понимает научное направление, возникшее на стыке геологии и экологии и изучающее закономерные связи между живыми организмами, в т.ч. человеком, техногенными сооружениями и геологической средой. Функциональной единицей предлагается считать «геоэкологическую систему», включающую в себя растительность, живые организмы, в том числе и человека, геологическую среду (косное и биокосное вещество), техногенные и хозяйственные объекты, т.е. компоненты, взаимно влияющие друг на друга и необходимые для поддержания жизни на Земле.

К. И. Сычев (1991) [157] под геоэкологией понимает междисциплинарную и общепланетарную науку, изучающую в естественных и техногенно нарушенных природных условиях закономерные изменения в литосфере, происходящие под действием внутренних (эндогенных) сил Земли с внешним влиянием атмосферы, гидросферы, биосферы и техносферы, и воздействие этих изменений на все сферы окружающей среды, в первую очередь на биосферу. Главный объект науки геоэкологии – геоэкологические процессы. Этот вывод представляется дискуссионным, поскольку процесс не может быть объектом.

В. И. Осипов (1997) [138] под геоэкологией понимает междисциплинарную науку, изучающую неживое (абиотическое) вещество геосферных оболочек Земли как компоненту окружающей среды и минеральную основу биосферы. В центре внимания геоэкологии находится верхняя часть литосферы и процессы, происходящие в ней под влиянием природных и техногенных факторов. Таким образом, объектом геоэкологии является неживое (косное и биокосное) вещество геосферных оболочек Земли (верхней части литосферы, педосферы, атмосферы, гидросферы). Предметом геоэкологии следует считать всю сумму знаний о геосферных оболочках и их изменениях под влиянием природных и техногенных факторов как многокомпонентных, иерархично построенных динамичных системах с многоступенчатыми процессами саморегулирования.

В. Т. Трофимов и др. (1996, 1997, 2017, 2019) [166–175] определяют геоэкологию как междисциплинарную науку, изучающую состав, структуру, закономерности функционирования и эволюции естественных (природных) и антропогенно преобразованных экосистем высоких уровней организации. Она интегрирует все знания об экологических проблемах Земли и представляет собой триумвират из биологических, геологических и почвенно-географических наук,

ставящих основной целью сохранение жизнеобеспечивающей среды и жизни на Земле. Объектом исследования геоэкологии являются природные и антропогенно нарушенные (преобразованные) экосистемы высокого уровня организации. Предметом исследования геоэкологии являются закономерности функционирования и эволюции естественных и антропогенных измененных экосистем высокого уровня организации.

В. Н. Быков (2000) [10, 11] определяет геоэкологию как междисциплинарную науку, изучающую экологические функции геосферных оболочек Земли, закономерности их преобразования и сохранения жизнеобеспечивающих свойств среды. Геоэкология создает обобщенное знание на основе аналитической переработки результатов исследований медико-биологических, географических, геологических, почвоведческих и социально-экономических наук.

Представления автора (Копылов И.С., 2014) [63] на основе критического анализа всех этих и других взглядов более созвучны с «геосферным» подходом в определении геоэкологии, как междисциплинарной науки на основе системного анализа. В этом понимании геоэкология объединяет экологическую геологию и экологическую географию и находится на одной иерархической ступени с биоэкологией, социальной и промышленной (прикладной) экологией, с которыми тесно взаимодействует.

Таким образом, несмотря на многообразие мнений, в настоящее время большинством ученых геоэкология рассматривается как междисциплинарное научное направление, объединяющее исследования состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов.

В настоящее время в российской науке можно считать общепринятым большинством ученых и специалистов определение геоэкологии, утвержденное Высшей аттестационной комиссией (ВАК) для паспорта научной специальности ВАК 1.6.21 (25.00.36):

Геоэкология – междисциплинарное научное направление, объединяющее исследования состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов. Основной задачей геоэкологии является изучение изменений жизнеобеспечивающих ресурсов геосферных оболочек под влиянием природных и антропогенных факторов, их охрана, рациональное использование и контроль с целью сохранения для нынешних и будущих поколений людей продуктивной природной среды.

Характерно разнообразие мнений у разных исследователей в отношении соотношения между геоэкологией и экологической геологией. Как уже видно из приведенных определений геоэкологии, многие исследователи считают

ее междисциплинарной наукой, включающей в блок своих основных объектов и задач исследований геологическую и географическую часть. Из этого следует, как отмечают В. Т. Трофимов и Д. Г. Зилинг (1997) [169], что экологическая геология занимает более низкую иерархическую ступень по сравнению с геоэкологией и сопоставима с экологической географией (но не с экологическим почвоведением, т.к. это будет подструктурой экологической географии). Под «экологической геологией» предлагается понимать новое научное направление в геологии, изучающее верхние горизонты литосферы (включая подземные воды и газы) как одну из абиотических компонент экосистем высоких уровней организации. Ее предметное поле формируется на пересечении биологии и геологии, а собственно предметом исследования являются экологические функции приповерхностной части литосферы. Объект исследований – традиционные для геологических наук сферы Земли (литосфера и ее экологические свойства), а в системном плане – эколого-геологические системы (Трофимов, Зилинг, 1997) [169].

Подавляющее большинство исследователей признают, что объектом исследований эколого-геологических наук является **геологическая среда** (ГС). Понятие «геологической среды» введено Е. М. Сергеевым (с позиции инженерной геологии). Под ним понимались любые горные породы, которые составляют верхнюю часть литосферы и рассматриваются как многокомпонентные системы, находящиеся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека (Сергеев, 1982) [149]. Однако в настоящее время существует много других определений и понятий геологической среды, которая рассматривается (с позиции геоэкологии) как составная часть экотопа, нообиогеоценозов и экосистем (А. Я. Гаев, Г. Н. Карпов (1999) [19]). В современном понимании, геологическая среда – это часть геосфер, открытая многокомпонентная система, которая имеет вполне четкую верхнюю границу – поверхность рельефа и нижнюю непостоянную границу, которая зависит от многих факторов и в первую очередь от характера техногенного воздействия. С позиции системного анализа, по Г. А. Голодковской и Ю. Б. Елисееву (1989) [21], геологическая среда является открытой системой и рассматривается только в совокупности с техносферой как природно-техническая система.

Таким образом, основным объектом изучения геоэкологии можно считать **геологическую среду** и функционирующие с ее участием природные и природно-техногенные экосистемы. Термин «геологическая среда» широко используется специалистами и учеными различных отраслей знаний. Существующие отличия его трактовки вытекают из различий в направлениях исследований, с одной стороны, и из традиций научных школ и субъективных взглядов конкретных лиц, с другой. В инженерной геологии геологическая среда рассматривается как верхняя часть разреза литосферы, в горнодобывающем и гео-

логоразведочном деле она полностью связана с изучением и разработкой недр. Эти две трактовки объединяет то, что понятие «геологическая среда» тесно увязывается только с деятельностью человека. Анализ существующих понятий термина «геологическая среда» позволяет выявить два исторически сложившихся методологически разных направления или взгляда на этот сложный природный объект. Представители первого направления геологическую среду понимают в прямом (узком) смысле как среду по отношению к какому-либо объекту (техногенному или природному), именно в ней находящемуся (Г. А. Марков, Л. Мюллер, П. Н. Панюков, Е. М. Сергеев, Г. С. Вартамян, Г. Н. Кашковский и др.). Исследователи второго течения рассматривают геологическую среду как сложный объект природы, объективно существующий независимо от деятельности людей (А. Д. Говард и И. Ремсон, Л. Д. Белый, Г. А. Голодковская, Л. В. Шаумян, В. Д. Ломтадзе, С. В. Клубов и Л. Л. Прозоров и др.). По мнению А. В. Мананкова (2010) [124], без учета всей долгой геологической истории, роли биоты, атмо- и гидросферы, а также человека невозможно получить достоверные сведения о современных качественных параметрах геологической среды. Анализ имеющихся формулировок различных авторов позволяет дать современную трактовку понятия «геологическая среда». Геологическая среда – это комплексная гетерофазная система биосферы, формирующаяся в результате геологически длительного взаимодействия земной коры с внутренними геосферами Земли, а также с гидросферой, атмосферой и живыми организмами. Она обеспечивает существование и эволюцию растительного, микробиологического и животного мира, включая человека [124].

Геологическая среда включает в себя почвы, горные породы, подземные воды, газы, органические вещества, находящиеся во взаимодействии; она характеризуется геологическими, геофизическими и геохимическими полями и находится под влиянием многообразных внешних, в том числе антропогенных нагрузок (М. В. Кочетков, Г. С. Вартамян, М. С. Голицын (1998) [115]). Некоторые исследователи к геологической среде относят компоненты географической среды – рельеф, ландшафт, почву, многолетнюю мерзлоту. С геологической средой тесно связаны компоненты других природных сред – атмосферного (приземного) воздуха, снежного и растительного покрова, поверхностных вод.

Все эти компоненты окружающей природной среды (геологической и географической сред) можно объединить в одно понятие – **природно-геологическая среда** (ПГС), которая может считаться основным комплексным объектом геоэкологического изучения. При этом подчеркивается, что базовым компонентом природной среды является геологическая среда [63].

Природно-геологическая среда обладает определенными объемно-территориальными и емкостными характеристиками.

В настоящее время существуют различные подходы к определению понятий **«экологической емкости среды»**, или **«экологической емкости территории»** [96, 97], а вместе с ними и различные методы изучения, оценки и охраны окружающей среды от воздействия техногенеза. В геоэкологии рассматриваются понятия **«геоэкологическая емкость»**, **«экологическая емкость геологической среды»**. Последнее особенно важно в решении вопросов недропользования и природопользования.

Геоэкологическая емкость территории характеризует способность природно-геологической среды к самовосстановлению и нейтрализации вредных антропогенных воздействий, является мерой максимально допустимого вмешательства техногенеза и антропогенеза. Она определяется объемами основных природных резервуаров: геологической среды (литосфера, подземные воды, газы и др.), водоемов и водотоков, воздушного бассейна, земельных площадей и запасов почв, биомассы флоры и фауны; мощностью потоков биогеохимического круговорота, обновляющих содержимое этих резервуаров, скоростью местного водно-газового и атмосферного газообмена, пополнения объемов чистой воды, процессов почвообразования и продуктивностью биоты; максимальной техногенной нагрузкой, которую может выдержать и переносить в течение длительного времени совокупность реципиентов и экологических систем территории без нарушения их структурных и функциональных свойств. Экологическая емкость геологической среды зависит от степени ее прочности и защищенности (или наоборот – уязвимости) от техногенного воздействия. Важнейшим показателем прочности горного массива является степень трещиноватости пород. Ведущими методами картирования тектонической трещиноватости являются аэрокосмогеологические исследования (АКГИ) [59].

В рамках **«экологической геологии»** продолжается дискуссия о теоретической основе и основных проблемах этого научного направления. Так, В. Т. Трофимов, Д. Г. Зилинг (2000) [170, 171] теоретическим базисом экологической геологии определяют учение об экологических функциях литосферы (при этом к основным экологическим функциям литосферы относят ресурсную, геодинамическую и геофизико-геохимическую функции). А. Я. Гаев (1999) [18] отмечает, что объектом исследований эколого-геологических наук является геологическая среда, которая является составной частью экотопа, нообиогеоценозов и экосистем. В. А. Королев (2000) [107] считает исследование экологических функций литосферы (воздействие литосферы на экосистемы) псевдопроблемой, а действительно актуальные теоретические проблемы экологической геологии связаны с изучением воздействия человека через объекты техносферы на геологическую среду. Поэтому объектом исследования экологической геологии должны являться эдафотопы вторичных (техногенных) биоценозов, испы-

тывающие наиболее сильные техногенные воздействия, а предметом исследования – закономерности их изменения в зоне интенсивного техногенеза. Иную позицию занимает МПР России, где термин «геоэкология» понимается как синоним «экологической геологии» (М. В. Кочетков и др. [116]). Вероятно, такая же позиция у многих специалистов ВСЕГИНГЕО, а также у разработчиков методики по составлению «Эколого-геологической схемы» ВСЕГЕИ, поскольку в качестве основных картируемых элементов на эколого-геологических картах предложены ландшафты или геоморфологические элементы (Инструкция..., 1995 [33]; Требования..., 1990 [160–162]; Методические..., 1994 [130]; Камеральная..., 1999 [36]), хотя основным объектом исследований также считается геологическая среда.

В последние десятилетия в науках о Земле (Геология) в результате перехода на новую геологическую парадигму (тектонику литосферных плит) возникла и получила бурное развитие новая научная дисциплина – *геодинамика*. Выделены основные разделы геодинамики: общая, частная, региональная, историческая (Л. П. Зоненшайн, Л. А. Савостин) [30], новейшая тектоника и современная геодинамика (Н. И. Николаев, Н. И. Корчуганова). На стыке различных геологических направлений выделяются минерогеодинамика (Р. Г. Ибламинов), геодинамика недр (И. М. Петухов, И. М. Батугина), гидрогеодинамика (В. М. Шестаков), флюидогеодинамика (А. И. Кудряшов), эндогенная и экзогенная геодинамика, инженерная и экологическая геодинамика и др.

Научное содержание *экологической геологии* наиболее полно разработано В. Т. Трофимовым и Д. Г. Зилингом (1997) [169], которые в ее структуре выделяют три основных раздела:

- 1) эколого-геологическое ресурсоведение;
- 2) экологическую геодинамику;
- 3) экологическую геохимию и геофизику.

Кроме этого, многими исследователями выделяются различные направления эколого-геологического содержания как разделы дисциплин: экологическая гидрогеология (гидрогеоэкологию), экологическая инженерная геология, экологическая геоморфология, экологическая неотектоника и др. Последнее направление было предложено Н. Н. Николаевым (1988) [134] как самостоятельный раздел неотектоники, рассматривающий ее как геодинамику техногенных движений, обусловленных антропогенной деятельностью.

Н. И. Корчуганова (2007) [108] считает понятие «*экологическая неотектоника*» более широким и включает в него «изучение изменений приповерхностных частей литосферы под влиянием как техногенных воздействий, так и природных катастрофических и медленных геологических эндогенных и экзогенных процессов». Однако последнее определение выходит за рамки неотек-

тоники и отражает суть *экологической геодинамики* – науки, которая входит в состав экологической геологии и находится на стыке геоэкологии, инженерной геологии, современной и новейшей геодинамики. В предмет изучения экологической геодинамики необходимо добавить еще изучение влияния геодинамических процессов и их экологических последствий на биоту и человеческое общество [63].

Факторы геоэкологической (эколого-геологической) обстановки

В современной геоэкологии и экологической геологии продолжаются дискуссии по ряду основополагающих вопросов. Так, по вопросу **о приоритетных группах факторов**, которые должна изучать геоэкология, существуют две принципиально различные позиции: изучать только антропогенное воздействие на систему и его результаты или исследовать и природные, и антропогенные воздействия. Сторонники первой позиции (например, авторы «Основ геоэкологии» (1994)) и их последователи аргументируют ее тем, что к природным воздействиям экосистемы якобы адаптировались. Однако это традиционное заблуждение, ведь подавляющая часть катастрофических событий обусловлена сугубо природными процессами и явлениями, т.е. землетрясениями, извержениями вулканов, селями, оползнями, наводнениями, цунами, ураганами и т.п. При этом известно, что мощность антропогенного воздействия и на современном этапе развития нашей цивилизации намного меньше мощности природных воздействий. Поэтому большинство исследователей подчеркивает, что геоэкология должна изучать влияние и природных, и антропогенных воздействий, а также их последствий как для абиотических сфер Земли, так и для биоты (Голубев, 1999, 2002; Горшков, 2001, 2005, 2010; Козловский, 1989; Куриленко, 2002, 2004; Осипов, 1997; Трофимов, Зилинг, 2002).

Под **факторами геоэкологической (эколого-геологической) обстановки** понимаются движущие силы (причины) различных процессов, происходящих в природе, обуславливающих формирование и изменение верхней части литосферы (геологической среды), природных и природно-техногенных ландшафтов, запасов и химического состава подземных вод, геохимических и геофизических полей, месторождений полезных ископаемых, а также приводящих к изменению природно-геологической среды [63, 70].

Геоэкологические процессы – процессы, происходящие под влиянием геологических и других природных факторов, влияющие на экологическую обстановку – состояние окружающей (природно-геологической среды) среды и здоровье человека.

1.2. Научное содержание геоэкологии и ее раздела – прикладной геоэкологии

Вопрос о структуре науки геоэкологии остается открытым. С точки зрения **прикладной геоэкологии**, а также рационального природопользования и недропользования интерес представляют следующие подходы к структуре и научному содержанию геоэкологии:

К. И. Сычев [157], подходя к геоэкологии как к комплексной науке, выделяет в ее составе экогеохимию, гидрогеоэкологию, инженерную геоэкологию и экогеодинамику, экогеофизику, экогеоморфологию (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Структура и научное содержание геоэкологии
(по К. И. Сычеву, 1991) [157]

Важным научным направлением автор считает выход геоэкологии на медико-биологическую информацию и медико-геоэкологическое картирование проявлений тех или иных заболеваний в корреляции с геоэкологическими условиями.

Л. Л. Розанов (2017) выделяет в составе геоэкологии общую, глобальную, региональную, динамическую и прикладную геоэкологию. В составе двух последних разделов выделяет по несколько дисциплин (рис. 1.2).

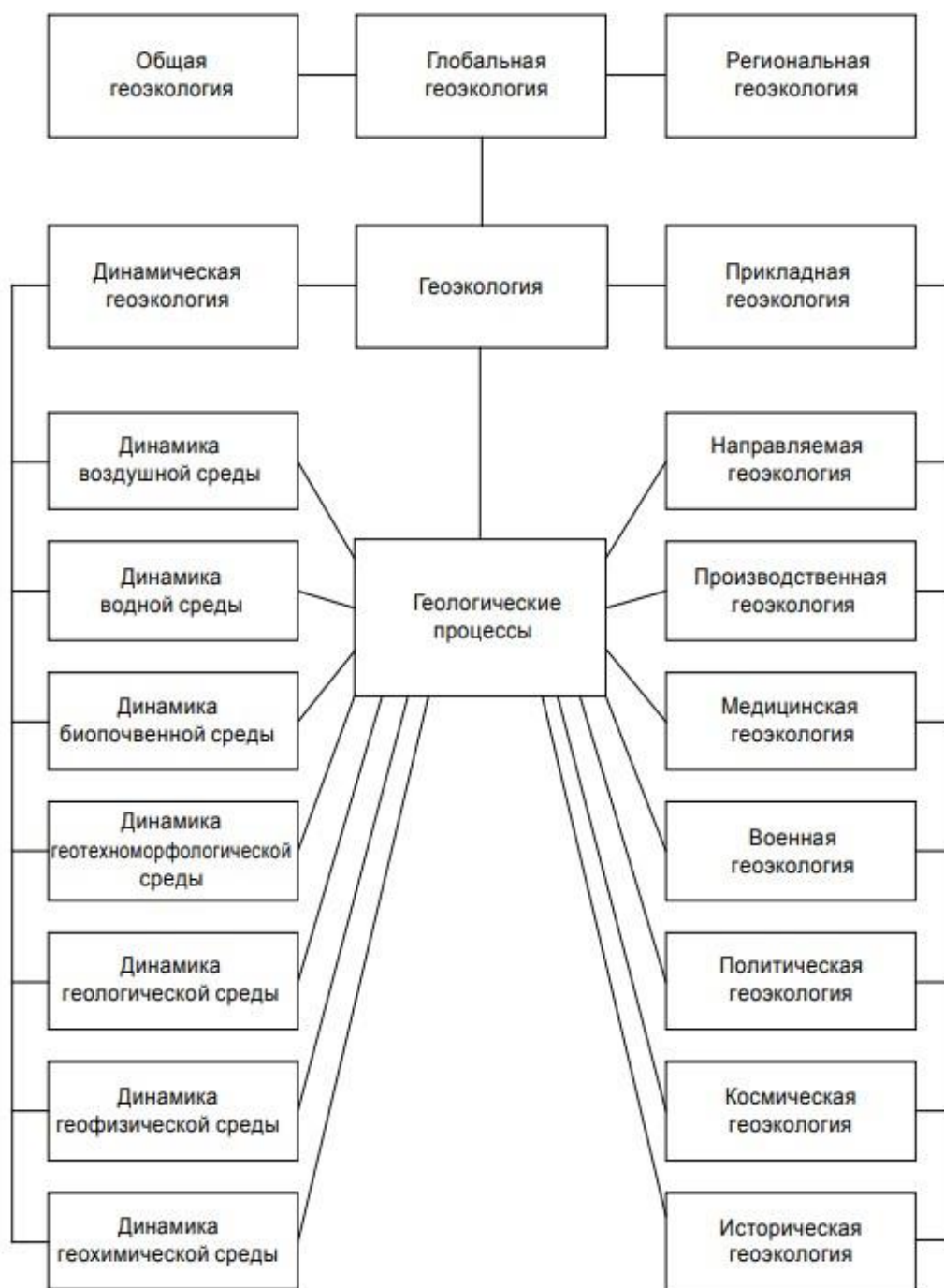


Рис. 1.2. Принципиальная модель структуры геоэкологии
(по Л. Л. Розанову, 2017) [145, 146]

Прикладная геоэкология включает следующие разделы [145]:

– *направляемая геоэкология* (управление качеством окружающей среды) – деятельность, нацеленная на научное обоснование использования геоэкологических ресурсов, обеспечение выполнения норм и требований, ограничивающих вредное воздействие производства и выпускаемой продукции. Рассматриваются геоэкологические проблемы, геоэкологическая экспертиза, геоэкологический мониторинг, управление качеством окружающей среды и др.;

– *производственная геоэкология* – направление, изучающее техногенные воздействия на состояние окружающей среды с целью предотвращения ее загрязнения и деградации в пространственно-временной конкретности;

– *медицинская геоэкология* – направление, изучающее геоэкологические процессы в окружающей среде, воздействующие на человека, его здоровье и жизнедеятельность в пространственно-временной конкретности;

– *военная геоэкология* – направление, изучающее современные и будущие геоэкологические последствия военной деятельности для окружающей среды, человека, растительных и животных организмов;

– *политическая геоэкология* – направление прикладной геоэкологии, изучающее внутригосударственную геоэкологическую деятельность и межгосударственные отношения в геоэкологическом пространстве с целью оптимизации растущей геоэкологической взаимозависимости между странами, а также регулирования геоэкологических конфликтов;

– *космическая геоэкология* изучает состояние окружающей среды на основе спутниковой системы наблюдений;

– *историческая геоэкология* – направление, изучающее пространственно-конкретные воздействия прошлой окружающей среды на человека в расселенческом, антропохимическом, историко-почвенном, историко-климатическом, историко-хозяйственном, историко-медицинском аспектах.

А. И. Семячков, К. Дребенштедт, А. Е. Воробьев (2012) подразделяют геоэкологию на теоретическую и прикладную. По воздействию на биосферу подразделяют ее на геоэкологию природных процессов (экогеодинамика, экогеофизика и экогеохимия) и антропогенных процессов (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Основные разделы геоэкологии
(по А. И. Семячкову, К. Дребенштедту, А. Е. Воробьеву, 2012) [148]

Важным звеном в антропогенных процессах является геоэкология твердых полезных ископаемых, углеводородов и гидрогеоэкологии. Геоэкология недропользования охватывает социально-экологические и правовые аспекты использования земных недр. Историческая геоэкология включает анализ изменения геологической обстановки в истории Земли и ее влияния на биосферу. Прогностическая геоэкология, основанная на математических методах моделирования, решает задачу предсказания изменения геологической обстановки в будущем и ее влияния на биосферу. Геоэкология катастроф определяет меры по прогнозированию и предотвращению негативных явлений в биосфере в связи с катастрофическими литосферными процессами [148].

Геоэкологические проблемы, как правило, носят комплексный характер, требуют интеграции геологии, географии, почвоведения, геофизики, геохимии, горных наук в единую систему знаний **о геологической и географической среде**. Охватывая сведения о Земле, геоэкология является не просто суммирующей, а обобщающей областью знаний. Она имеет свой объект и предмет исследований, которые не следуют из теории какой-либо отдельной науки о Земле.

Основным объектом геоэкологических исследований должна быть природно-геологическая среда (включает геологическую среду и отдельные компоненты географической среды в объеме, необходимом для оценки экологического состояния) в совокупности с техногенными комплексами и объектами.

Природно-геологическая среда (ПГС) – основной объект геоэкологического изучения и региональных геоэкологических исследований, включающий геологическую среду с ее ведущей ролью (почвы, горные породы, подземные

воды, газы, органические вещества) и отдельные компоненты географической среды в объеме, необходимом для изучения и оценки геоэкологической обстановки (рельеф, ландшафты, почвы, атмосферный приземный воздух, снежный и растительный покров, поверхностные воды, многолетняя мерзлота).

Обобщенная модель структуры геоэкологии и ее компонентов приведена на рис. 1.4.

Предметом геоэкологии являются эколого-геологические (эколого-геодинамические, эколого-геохимические, эколого-гидрогеологические) закономерности и формирование геоэкологических условий в результате естественного развития и воздействия техногенеза. Она изучает информационное поле планеты (геосферу, биосферу, техносферу, социосферу, экосистемы и др.) в объеме, необходимом для оценки экологического состояния природно-геологической среды, моделирования и прогнозирования происходящих в ней процессов [63].



Рис. 1.4. Обобщенная модель структуры геоэкологии [43]

Методологической основой геоэкологии является системный подход и анализ компонентов природно-геологической среды [63].

Системный анализ имеет несколько подходов, или несколько аспектов, исследования эколого-геологической системы: таксономический (классификационный), структурный, субстрактный, динамический, функциональный, геологический, исторический. Системный подход позволяет проанализировать всю гамму причинно-следственных связей, формирующих структуру эколого-

геологической системы, и разработать программу взаимозаменяющих исследований специальными методами отдельных наук (геологии, географии, медицины, биологии, экономики, социологии, математики физики, химии, экологии) [169].

Прикладная геоэкология тесно связана с другими разделами и направлениями геоэкологии (теоретической, общей, глобальной, региональной, динамической, природных и антропогенных процессов, исторической, прогностической, катастроф). В ее составе выделяются направляемая, производственная, медицинская, военная, политическая, космическая геоэкология. Из состава производственной геоэкологии обособляется геоэкология недропользования, в составе которой развиваются геоэкология нефтегазового недропользования (включает геоэкологию нефтегазоносных и нефтегазодобывающих регионов, нефтегазовую геоэкологию и др.), геоэкология недропользования твердых полезных ископаемых (включает геоэкологию горнодобывающих регионов, геоэкологию угольных месторождений, калийных и др. солей, алмазов, полиметаллов, золота и др. полезных ископаемых), геоэкология недропользования подземных вод (гидрогеоэкология), геоэкология недропользования на городских и урбанизированных территориях, а также инженерная геоэкология (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Принципиальная модель структуры дисциплины «Прикладная геоэкология» (И. С. Копылов, 2023)

Важнейшими **практическими задачами прикладной геоэкологии** (которые особенно тесно связаны с задачами региональной геоэкологии и геоэкологии недропользования) являются:

- 1) выявление геоэкологических особенностей природных и урбанизированных территорий, различных объектов в целях оценки геологической и экологической безопасности планируемой хозяйственной деятельности;
- 2) оценка загрязнения земных оболочек и территорий в результате различных видов недропользования;
- 3) комплексный геоэкологический анализ, оценка и районирование территорий;
- 4) разработка и применение методов геоэкологических исследований, картографирования, оценки, прогноза экологического состояния природно-геологической среды;
- 5) информационное обеспечение для геологической и экологической безопасности регионов и рационального природопользования, недропользования и контроля, а также для разработки нормативно-методических документов с целью сохранения продуктивной природной среды для нынешних и будущих поколений людей [63, 100, 132, 133].

2. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Основные виды методов геоэкологических исследований

Теоретической и практической основой для экологической оценки и прогноза состояния природно-геологической среды являются **методы геоэкологических исследований** в совокупности с другими естественнонаучными методами. На вооружении современной геоэкологии есть целый набор разнообразных методов. Эти методы находятся в тесной исторической и логической взаимосвязи и образуют своеобразные комплексы и системы методов. Унифицированной классификации методов геоэкологических исследований не существует. Предлагаются разные подходы и варианты методов, при этом у многих авторов и коллективов методы повторяются в разных модификациях.

Для информационного обеспечения природопользования и недропользования и решения задач по оценке экологического состояния природно-геологической среды необходимо:

- определить методы (системы или группы методов) общенаучного уровня, возможные к применению, для оценки экологического состояния геоэкологической среды;
- определить методы наук о Земле, используемые для получения геоэкологической информации (по природно-геологической среде и природно-техногенным системам);
- определить специализированные методы геоэкологических исследований;
- сформировать принципиальную схему последовательности геоэкологических исследований.

В самом общем виде методы геоэкологических исследований можно подразделить на общенаучные методы (системный подход, методы эмпирического и теоретического обобщения: индикационный, оценочный, аналогов, классификации); математические методы; сравнительные и описательные методы; историко-эволюционные подходы и методы; полевые, лабораторные и камеральные методы; картографические и геоинформационные методы; методы экспертных оценок; геохимические и геофизические методы; дистанционные (аэрокосмические методы) и др.

В соответствии с решаемыми задачами, методы исследования можно разделить на три группы: первая группа – методы, изучающие прошлое состо-

яние геосистем; вторая – методы, используемые в исследовании настоящего состояния объекта; третья – методы, используемые для прогнозирования будущих тенденций развития и состояния геосистем на основе анализа их состояний в прошлом и настоящем (Голубчик и др., 2000) [23].

По характеру полученных результатов методы исследования можно разделить на две группы: **методы качественного анализа** и **методы количественного анализа**. В настоящее время очень важно дать изучаемому объекту полную характеристику с выделением основных количественных параметров.

По исторической последовательности возникновения методы геоэкологических исследований можно разделить на три группы: **традиционные** (литературный, исторический, сравнений и аналогов, картографический), **новые** (геофизический, геохимический, статистический, аэрометоды) и **новейшие** (космический, моделирование, методы прогнозирования, методы с использованием информационных систем) (Масляев, 2020) [125].

По месту рабочего цикла и положению исследователя выделяют **полевые (или экспедиционные), лабораторные, камеральные и дистанционные методы**.

Полевые методы связаны с непосредственными полевыми (или экспедиционными) исследованиями, экспериментальными измерениями и описаниями различных натуральных объектов, отбором образцов и проб из изучаемых объектов. Проводятся по различным технологиям в зависимости от задач исследований. Регламентируются нормативными документами. Полевые исследования могут включать разные виды работ: маршрутные, рекогносцировочные, буровые, горнопроходческие, полевые лабораторные работы, опробование; могут быть стационарными и полустационарными.

Лабораторные и аналитические методы. Собранные в полевых условиях образцы и пробы подвергаются лабораторному анализу. Такие исследования обычно проводят в различных лабораториях (химических, физических, газоаналитических, минералого-петрографических и др.), оснащенных разнообразным оборудованием и техническими приборами. Особенность лабораторных исследований – количественные данные получают с определенной точностью, где важную роль играет погрешность анализа. Обязательное требование к качеству лабораторий и анализам: сертифицированность лабораторий, соблюдение утвержденных технологий, контроль проб и анализов и др.

Одними из главных методов лабораторных исследований для геоэкологических исследований являются *геохимические методы*, позволяющие определить концентрации химических элементов в почвогрунтах, подземных и поверхностных водах, донных осадках, атмосферном воздухе, биосубстратах и др. Данные методы играют главную роль в оценке состояния компонентов геологической среды, поскольку лишь с их помощью можно представить виды и масштабы загрязнения почв, горных пород и подземных вод. Вместе с тем химические анализы почв, грунтов и подземных вод весьма дороги и трудоемки. Аналитических данных часто недостаточно для кондиционной оценки территорий, поэтому используются результаты анализов предшественников (данные разных лет, разных лабораторных технологий, разной точности измерений), что усложняет процесс и снижает качество результатов оценки. Ценность количественных показателей, получаемых при химическом опробовании, снижается из-за недостаточно разработанной методики определения ПДК для многих загрязняющих веществ.

Камеральные методы – общий термин для обозначения работ, проводимых в помещении, в противоположность полевым работам. Камеральная работа часто дополняет полевые работы и направлена на обработку первичного материала (данных), полученного в ходе полевых исследований. К этим методам относят исследования, связанные с работой в офисах и любых других помещениях, геолфондах, библиотеках, архивах, по анализу средств Интернет и др. Камеральные исследования позволяют собрать информацию; обобщить фактические данные, полученные в поле и в лабораториях; создать окончательный вариант карт (картосхем) и других графических построений (разрезов, профилей, графиков, диаграмм и др.), составить научные и производственные (технические) отчеты.

Дистанционные методы исследования (аэро- и космические методы – АКМ) основаны на дистанционном зондировании объектов исследования. Эти методы используют электрическое, магнитное и гравитационное поля нашей планеты. Дистанционное зондирование ведется с летательных аппаратов, искусственных спутников Земли с помощью специальных технических средств. Полученные во время зондирования материалы затем дешифрируются – по прямым и косвенным дешифровочным признакам выделяются объекты для различных целей, в т.ч. решения геоэкологических задач, проведения аэро-космического мониторинга [63]. В последние годы активно развивается новый

вид исследований – *дистанционное зондирование Земли из космоса* (ДЗЗ) – непосредственные наблюдения и измерения энергетических и поляризационных характеристик собственного и отраженного излучения элементов суши, океана и атмосферы Земли в различных диапазонах электромагнитных волн, способствующие определению местонахождения, описанию характера и временной изменчивости естественных природных параметров и явлений, природных ресурсов Земли, окружающей среды, а также антропогенных объектов и образований. Преимуществом дистанционных методов исследований является их оперативность, высокая информативность, точность, комплексность, возможность исследования значительных по площади территорий, всепогодный мониторинг, экономичность и др.

Считается, что материалы аэрокосмосъемки дают ценные сведения главным образом о нарушенности (фиксация геологических процессов, тектонических нарушений, изменения ландшафтов и др.) и гораздо менее информативны в отношении загрязнения поверхности литосферы и гидросферы. Однако при комплексировании с другими методами реально решать самые разнообразные геоэкологические задачи.

На основе комплексирования АКМ с другими геологическими методами сформирован ряд методик по изучению природно-геологической среды и комплексному аэрокосмогеологическому анализу с геоэкологическими, гидрогеологическими, инженерно-геологическими, минерагеническими целями (морфонеотектонический, экзогеодинамический, линеаментно-геодинамический, ландшафтно-геодинамический и другие виды анализов), которые подробно изложены в работах [42, 45, 58–60, 62, 63 и др.].

Картографические методы – методы проведения картографических работ, включающих сбор и обработку пространственных данных в целях обеспечения возможности их последующего отображения на планах, картах и в атласах (также в электронной форме), включая фотограмметрические и топографические работы, в т.ч. работы по созданию специальных и топографических карт и (или) планов или иных картографических материалов. Существует большое число различных видов картографических работ по созданию специализированных карт, в т.ч. для геоэкологических целей. Картографические работы могут проводиться путем анализа имеющегося материала или основываться на материалах съемочных (полевых) работ (геологическая, гидрогеологическая, инженерно-геологическая, геохимическая, геоэкологическая и

другие виды съемок), которые проводятся в соответствии с разработанными методиками. Все они имеют ценную в разной степени информацию по природно-геологической среде. Организация и технология при картографическом обеспечении геоэкологических исследований зависят от конкретных решаемых задач, детальности работ, изученности территории, экономических возможностей и ряда других условий. Они относятся к специальным видам геоэкологических исследований и будут рассмотрены в специальном разделе.

2.2. Методы наук о Земле, используемые для получения геоэкологической информации

Общее представление о методах наук о Земле, используемых для получения эколого-геологической информации, изложено в работах Н. И. Плотникова, А. А. Карцева, И. И. Рогинец [141], В. Т. Трофимова, Д. К. Зилинга и др. [169, 173], которые выделяют 10 базовых наук разного иерархического уровня, методы которых используются для получения эколого-геологической информации. Многочисленные методы наук о Земле объединены в группы в соответствии с их научными направлениями и отображены в табл. 2.1 и 2.2.

В основе оценки минерально-сырьевых ресурсов ресурсной экологической функции литосферы лежат методы *геологии полезных ископаемых* (поисковые, опробования, подсчета запасов, оценки месторождений полезных ископаемых). Эти базовые методы дополняются методами геохимии (литохимическими, гидрогеохимическими, биохимическими, атмохимическими) и геофизики (гравиметрическими, магнитными, электромагнитными, сейсмическими, ядерно-физическими), которые используют при поисках и разведке полезных ископаемых. Также применяются методы петрологии, литологии и минералогии, связанные с изучением вещественного состава полезного ископаемого и вмещающих пород. Методы других геологических наук являются сопутствующими.

Таблица 2.1

**Методы наук о Земле, используемые для получения
эколого-геологической информации [169]**

Методы наук о Земле	Экологическая функция литосферы						
	Ресурсная			Геодинамическая		Геохимиче- ская	Геофизи- ческая
	Минерально- сырьевые ресурсы	Ресурсы подземных вод	Ресурс геологического пространства	Эндогенные геологические процессы	Экзогенные геологические процессы	Природные и техногенные геохимические поля	Природные и техногенные геохимические поля
Инженерной геологии	-	-	++	+	++	+	+
Гидрогеологии	-	++	+	-	+	+	-
Геокриологии	-	+	++	-	++	-	+
Геохимии	+	+	-	++	+	++	-
Геофизики	+	+	+	++	+	+	++
Геологии полез- ных ископаемых	++	-	-	-	-	-	-
Геотектоники, геодинамики и сейсмотектоники	+	-	+	+	+	+	+
Геоморфологии	+	-	+	-	++	-	-
Исторической геологии и палеонтологии	+	-	-	-	+	-	-
Петрологии, литологии и минералогии	++	-	-	+	+	+	+

Примечание: Методы наук не используются (-); используются (+); широко используются (++)

Ресурсы подземных вод исследуются базовой наукой – **гидрогеологией** (методы подсчета запасов подземных вод, методы количественной оценки подземного стока и др.). Для решения поставленных задач широко используются методы **геофизики** (электромагнитные, сейсмические, ядерно-физические и термические) и **геохимии** (гидрогеохимическое, геохимическое районирование и картирование).

Таблица 2.2

**Методы наук о Земле, используемые для получения
эколого-геологической информации [173]**

Методы наук о Земле		Экологические функции литосферы					
		Ресурсная			Геодинамическая	Геохимическая	Геофизическая
		Минеральные	Биогенные элементы	Геологическое пространство			
1	2	3	4	5	6	7	8
Инженер- ная геоло- гия	Инженерно-геологическая съемка	+	+	+++	+++	+	+
	Инженерно-геологическое картографирование	+	+	+++	+++	+	+
	Дистанционные методы исследования (аэро- и космические)	+	-	+++	+++	-	-
	Разведочные работы (бурение, горные)	+++	+++	+++	++	+	-
	Методы изучения твердой компоненты породного массива	++	++	+	+	++ +	+
	Методы изучения состояния и свойств пород и массивов	-	-	+	+++	-	-
	Методы изучения газовой компоненты пород	+	-	+	-	++ +	-
	Методы изучения жидкой компоненты пород	++	+	++	+	++ +	+
	Методы технической мелиорации пород	-	-	++	+	+	+
	Стационарные наблюдения	-	-	+	+++	-	-
Гидрогео- логия	Гидрогеологическая съемка	+++	+	+	++	++	+
	Гидрогеологическое картирование	+++	+	+	++	++	+
	Полевые опытные гидрогеологические работы	+	-	-	+	+	-
	Гидродинамические методы	-	-	-	+	+	-
	Метод гидрогеологических аналогий	++	-	-	-	++	-
	Гидрохимические методы	++	+	-	-	+++	-
	Методы оценки запасов подземных вод	+++	-	+	-	-	-
	Балансовый метод	+++	-	+	-	-	-
	Стационарные гидрогеологические исследования	++	-	-	++	++	-
	Методы увеличения и восстановления водообильности скважин	++	-	-	-	-	-
	Методы изоляции водоносных горизонтов	+	-	+	-	++	-

1	2	3	4	5	6	7	8
Геокриология	Мерзлотная съемка	+	-	+++	+++	+	+
	Геокриологическое картографирование	+	-	+++	+++	+	+
	Опытные буровые и горные работы	++	-	++	+	-	-
	Методы изучения состава, криогенного строения и свойств пород	-	-	++	++	+	-
	Лабораторные и полевые исследования	+	-	+	++	-	-
	Метод аналогий	+	+	+	+	-	-
	Опытные стационарные исследования	-	-	++	+	-	-
Геохимия	Геохимическая съемка	+++	+++	++	-	+++	-
	Геохимическое картографирование	+++	+++	++	-	+++	-
	Ландшафтно-геохимические методы	+	+	+++	-	+++	-
	Биогеохимические методы	-	-	++	-	+++	-
	Полевые методы опробования	+++	+++	+	-	+++	-
	Методы определения элементов (атомно-адсорбционный, хроматографический, рентгено-спектральный и др.)	+++	-	-	-	+++	-
Геофизика	Геофизическая съемка	+	-	-	-	-	+++
	Геофизическое картографирование	+	-	-	+	+	+++
	Дистанционные методы изучения	-	-	-	+	+	+++
	Наземные методы изучения	-	-	-	+	+	+++
	Скважинные методы изучения	+	-	-	-	-	+++
	Радиометрические методы	+	-	+	-	-	+++
	Методы изучения электромагнитных и магнитных полей	-	-	+	-	-	++
	Методы изучения гравитационного поля	+	-	+	-	-	++
	Сейсмические и сейсмоакустические методы	+	+	+	+	-	++
	Методы изучения тепловых полей	-	-	+	-	-	++
	Методы изучения вибрационных полей	-	-	+	-	-	++
	Лабораторные методы изучения	+	-	-	-	-	+++
	Методы экологически направленной переинтерпретации геофизической информации	-	-	-	-	-	+++
	Стационарные наблюдения	+	-	+	+	-	++

Примечание: Методы геологических наук используются (+), широко используются (++), очень широко используются (+++), не используются (-)

Ресурс геологического пространства традиционно оценивается методами *инженерной геологии* (инженерно-геологическая съемка и картографирование, инженерно-геологическое районирование, методы полевого и лабораторного изучения горных пород и массивов, моделирования геологических процессов) и *геокриологии* (методы мерзлотной съемки и др.). Методы остальных наук используются как частные и чаще всего входят в комплекс полевых и опытных инженерно-геологических работ.

Геодинамическая функция литосферы изучается методами базовых наук – *инженерной геологии* (инженерно-геологическая съемка и картографирование, геодинамическое районирование, методы полевых работ, режимных наблюдений, полевого и лабораторного изучения горных пород и массивов, моделирования геологических процессов, оценки устойчивости склонов, микросейсмическое районирование), *геокриологии* (методы мерзлотной съемки, режимных наблюдений, мерзлотного прогноза), *геоморфологии*, для эндогенной ее составляющей – *методами неотектоники и современной геодинамики (морфонеотектонический, линейно-геодинамический, ландшафтно-геодинамический анализы)*, а также тектоники, сейсмотектоники, геофизики и геохимии. Именно они дают информацию о механизме развития и закономерностях пространственной приуроченности деструктивных процессов, а также о динамике их развития. Эта информация позволяет оценить экологическую значимость геологических процессов как природного, так и антропогенного происхождения. Методы остальных наук о Земле, хотя и используются для решения отдельных вопросов, имеют подчиненное значение.

Геохимическая функция литосферы является ведущей при оценках последствий естественных и техногенных «загрязнений» литосферы. Последние в настоящее время проявляются практически во всех компонентах верхней части разреза литосферы под влиянием техногенеза. Основными базовыми методами изучения геохимических полей и оценки их воздействий на биоту являются методы *геохимии*: атмохимический, литохимический, гидрогеохимический, газо-геохимический, биогеохимический, снеохимический (снеговая съемка), а также геохимическое картирование и районирование. Кроме того, применяются некоторые геофизические методы – радиометрия, радиолокационное зондирование и методы физического контроля и гидрогеологии – опытно-миграционные. Методы остальных геологических наук имеют подчиненное значение. Основными базовыми методами изучения геофизической экологической функции литосферы являются методы *геофизики* (гравиметрические, магнитные, электромаг-

нитные, сейсмические, ядерно-физические, термические), за каждым из которых стоит оценка интенсивности поля, выявление соответствующего физического поля. По мере необходимости они дополняются методами геотектоники, инженерной геологии и геокриологии. Широкое применение при эколого-геологических исследованиях получили методы следующих наук.

Инженерная геология. К методам этой науки, в первую очередь, относятся инженерно-геологические и экологические изыскания, которые регламентируются соответствующими СНиПами (например, [151, 153]), инженерно-геологическое картирование (съемка, картографирование), районирование, мониторинг. К частным методам можно отнести методы целенаправленного изучения показателей состава, структуры, состояния и свойств грунтов и массивов. Многие из них позволяют целенаправленно обосновать мероприятия по приданию неустойчивым породам новых свойств, улучшающих экологическую обстановку; при доработке вполне возможен их переход в разряд специальных методов экологической геологии.

Геокриология. Комплекс ее методов, в частности мерзлотная, или геокриологическая, съемка и картографирование, также широко используется при эколого-геологическом картировании районов развития многолетнемерзлых пород (ММП). Это в полной мере относится и к мерзлотному прогнозу, опирающемуся на моделирование мерзлотно-геологических ситуаций, метод аналогий, метод прогнозирования распространения и динамики проявления мерзлотных процессов, подземных льдов и таликов, метод экспертных оценок.

Гидрогеология. Решение задач экологической направленности для гидрогеологии не является принципиально новым. Для решения вопросов оценки запасов, охраны и защиты подземных вод от загрязнения и истощения разработаны целые комплексы методов, которые успешно используются при решении практических задач, а методическим приемам проведения исследований посвящена многочисленная литература. Наиболее перспективными и быстроразвивающимися являются следующие группы методов. Полевые опытно-миграционные исследования водоносных комплексов, в процессе которых проводится индикация подземных вод с целью определения миграционных параметров. Ввод индикатора в водоносный пласт осуществляется в трех основных режимах: мгновенный подъем концентрации индикатора; «пакетный» – поддержание постоянной концентрации только в течение определенного времени запуска; «импульсный» ввод – создание больших концентраций за весьма малый промежуток времени. Условия ввода индикатора, его тип определяют кон-

кретные методические приемы слежения и обработки информации. Этот комплекс методов опирается на целенаправленное исследование данных режимных наблюдений за процессами миграции, в том числе и при строительстве, и при эксплуатации техногенного объекта. Балансовый метод используется главным образом как дополнительный в сочетании с гидродинамическим и гидравлическим. Он позволяет установить роль отдельных источников в формировании эксплуатационных запасов, оценить обеспеченность запасов, развитие депрессионной воронки в пределах небольших ограниченных структур, где разница в понижении уровня в центре площади и на краях незначительна, что недоступно для других методов. Сложность гидрогеологических условий и практическая невозможность количественной оценки источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод определяют необходимость использования метода гидрогеологических аналогий. Метод основан на переносе данных о режиме эксплуатации подземных вод на участках действующих водозаборов на оцениваемые участки, находящиеся в аналогичных условиях с эксплуатируемыми.

Для оценки масштабов загрязнения подземных и поверхностных вод, миграции химического вещества в природных водах и других экологических целей может применяться структурно-гидрогеологический метод (анализ).

Структурно-гидрогеологический анализ основан на следующей закономерности: в формировании гидрогеологической обстановки в зоне активного водообмена ведущими являются состояния структурно-геологических условий и неотектонических движений. Теоретической предпосылкой структурно-гидрогеологического метода служит известное положение академика Н. М. Страхова [156]) о повышенной тектонической трещиноватости в сводовых частях активно поднимающихся положительных структур, способствующей интенсивному водообмену и миграции химических элементов подземных вод. Важнейшей его задачей является количественная оценка и картирование подземного химического стока, который представляет собой процесс совместной миграции растворенных веществ с гравитационными подземными водами в верхних частях земной коры и измеряется массой растворенного вещества, выносимого подземными водами из толщи земной коры в единицу времени. Практически метод осуществляется путем полевых измерений расходов водотоков и их солевого состава в межень, когда он соответствует в среднем составу подземного стока речных бассейнов. Действие описанной закономерности установлено для различных регионов мира (К. И. Маков, Н. Д. Буданов, Г. А. Мак-

симович, Г. К. Михайлов, В. А. Шерстнев, И. С. Копылов) и детально изучено во многих районах Сибири, Урала, Приуралья [51–54, 68, 73].

В качестве расчетных показателей для построения структурно-гидрогеологических схем использовались модуль подземного стока ($M_{пс}$), модуль подземного химического стока ($M_{пхс}$) и модуль углеводородного стока ($M_{увс}$) по формулам:

$$M_{пс} = \frac{g_{пс}}{F}; \quad M_{пхс} = \frac{g_{пс} \cdot C_{п}}{F} = M_{пс} \cdot C_{п}; \quad M_{увс} = \frac{g_{пс} \cdot C_{увг}}{F} = M_{пс} \cdot C_{увг},$$

где $g_{пс}$ – подземный сток, л/с; F – площадь гидрогеологического района (водосбора), км²; $C_{п}$ – средняя сумма растворенных солей, г/л; $C_{увг}$ – средняя сумма водорастворенных углеводородных газов; $M_{пс}$ – модуль подземного стока, л/с · км²; $M_{пхс}$ – модуль подземного химического стока, г/с · км²; $M_{увс}$ – модуль углеводородного стока, см³/с · км².

Построение структурно-гидрогеологической схемы и ее анализ включают:

- 1) вычисление расхода воды на гидростворах;
- 2) обработку результатов гидрометрических работ с учетом климатического фактора с пересчетом сезонных гидрологических данных на среднемноголетние;
- 3) определение площадей водосборных бассейнов;
- 4) подсчет суммарных расходов в отдельных бассейнах;
- 5) определение средней солености вод, среднего содержания отдельных химических элементов и водорастворенных УВГ в бассейнах;
- 6) расчет модулей стока (выноса) подземного стока, химического стока, углеводородного стока, хлор-иона, метана, суммы тяжелых углеводородов и других компонентов в каждом бассейне;
- 7) аппроксимацию расчетных данных способом «скользящего среднего» (карта изученности территории масштаба 1:200000 покрывается равномерной прямоугольной сеткой через 2 см; в квадратах 4 х 4 см с половинным перекрытием по горизонтали и вертикали вычисляются средние значения, относящиеся к центру квадратов) – в итоге получается трансформированная схема со значениями показателей по сетке с ячейкой 4 км;
- 8) выбор градаций и проведение изолиний по расчетным показателям способом интерполяции рациональными дробями;

9) расчет статистических характеристик: среднеарифметического значения (\bar{x}) и стандартного отклонения (s), определение фоновых и аномальных значений $>(\bar{x}+s)$;

10) построение графиков и профилей;

11) сопоставление гидрогеологических и структурно-тектонических условий; гидрогеологическую оценку локальных тектонических структур; изучение влияния структурно-тектонического фактора на формирование гидрогеологических аномалий;

12) оценку перспектив нефтегазоносности локальных объектов по структурно-гидрогеологическим углеводородногазовым аномалиям.

Геохимия. К методам геохимии, в том числе гидрогеохимии, широко используемым при изучении экологических функций литосферы, относится, как уже отмечалось, широкий спектр частных методов. Атмохимические (газовые) съемки проводятся систематически для определения содержания в приземной атмосфере газов, паров металлов и различных химических веществ и их соединений. Практическая реализация этого метода может быть выполнена на стационарных и передвижных постах, а также при аэрогеохимических съемках на базе лазерного метода зондирования. Гидро- газо- и литохимические съемки на потоках рассеивания проводятся по методикам, применяемым в поисковой, нефтепоисковой и разведочной геохимии. Снегогеохимические опробования проводятся с целью оценки состава и объема вредных выбросов в атмосферу за время, определяемое сезонной сохранностью снежного покрова. Они дают представление о составе и объемах токсикантов главным образом тяжелых металлов, соединений углерода, серы и азота, выпадающих на единицу площади и определяющих величину модуля техногенной нагрузки.

Проведение геохимических исследований, в т.ч. геохимической оценки загрязнения территорий, регламентируется различными инструкциями, требованиями, методическими рекомендациями [126–129, 147, 165 и др.].

Проводится типизация и районирование ландшафтно-геохимических систем [84], составляются ландшафтно-геохимические и эколого-геохимические карты.

Структурно-геохимический анализ основан на взаимосвязи формирования аномальных геохимических полей различных ингредиентов со структурно-тектоническим положением и геодинамическими условиями, применяется при геохимических исследованиях с разными целями (в т.ч. экологическими). Основным объектом изучения являются геохимические поля; основная задача —

выявление аномальных полей (картирование), а затем их генетическая диагностика [52, 61, 67, 71, 72, 75, 77]. В основу интерпретации данных положен принцип аномальности, согласно которому при оценке содержаний компонентов в пробах учитываются не столько абсолютные величины, сколько превышения над фоном, существующим в исследуемом районе. На начальном этапе обработки данных решается задача контроля качества измерения гидрогеологической и геохимической информации, которая проводилась по стандартной методике, основанной на выяснении относительной погрешности анализов. Систематизация исходных данных по гидрогеологическим и геохимическим объектам состоит из составления каталогов различных анализов по родникам, водотокам, скважинам, шурфам (банки данных); вычисления геохимических коэффициентов; установления типа вод и принадлежности водопунктов к различным водоносным комплексам (применялся кластерный анализ и гидрохимический способ). На следующем этапе производится выделение факторов, контролирующих концентрации ингредиентов с помощью однофакторного дисперсионного анализа; с учетом факторов выделяются объекты, максимально приближенные к условиям однородной среды; задача исключения влияния неоднородностей среды решается путем нормирования значений показателей (деления их значений на среднее значение по каждой совокупности). Задача картирования гидрогазобиохимических и геохимических показателей заключается в установлении их значений на топокарте и построении карт распределения показателей в изолиниях.

Задача выделения аномальных полей концентраций (ПКА) подразумевает изучение структуры геохимического поля концентраций (ПК) с целью нахождения границы между нормальными и аномальными значениями поля; в качестве исходного материала для решения этой задачи используются карты распределения геохимических показателей, построенные в изолиниях с использованием компьютерной техники. Разделение исходных данных геохимического поля на нормальное и аномальное поле производится по формуле:

$$\Phi = x \pm s,$$

где Φ – фон (нормальное поле); x – среднее арифметическое; s – стандартное отклонение.

При $ПК > (x+s)$ поле считается аномальным. Достоверность оконтуренных (сгруппированных) ПКА (аномалий) оценивается путем сравнения параметров распределения полеобразующего ингредиента в рамках аномального и нормального поля и проверяется на уровне значимости 95 % по t – критерию

Стьюдента. Количественная оценка степени надежности выявленных аномалий проводится с помощью коэффициента гетерогенности ПК:

$$\varphi = t_{\text{выч}} / t_{\text{критич}} (g=0,005f),$$

где g – уровень значимости; f – число степени свободы. В случае значимой аномалии $\varphi > 1$, причем степень ее надежности будет тем больше, чем значительнее отличие от единицы.

Интерпретация и анализ генетических особенностей геохимических полей и генетической природы аномалий является наиболее сложным актом. В основу их положена комплексная обработка геохимических и гидрогеологических данных (системный анализ), включающая установление пространственных визуальных и статистических связей выделенных ПКА между собой (факторный анализ) и ее структурно-тектоническими условиями площади, интенсивностью неотектонических движений, разрывной тектоникой, структурой региональных ПК индикаторов глубинности – гелия, хлор-иона и особенностями геологического строения площади [52, 63].

Геофизика. При изучении экологических функций литосферы широко используются различные технологические геофизические комплексы. Особая роль принадлежит методам радиометрии: аэро-, автогамма-спектрометрической и пешеходной гамма-съемке, детальной радиометрической разведке очагов загрязнения и постдезактивационному контролю, радиационному обследованию промышленных предприятий и жилых массивов с целью изучения распределения и поведения естественных и искусственных радионуклидов. Радиолокационное зондирование базируется на применении современных георадаров, с помощью которых возможно проводить зондирование даже в скважинах диаметром до 56 мм и глубиной 1000 м. Среди физических методов контроля различных загрязнителей используются ядерно-физические, люминесцентные, лазерно-флюоресцентные, ЯМР-спектроскопии, лазерной спектроскопии. Особый интерес в настоящее время представляют лазерные методы исследования с помощью лазерных анализаторов – «лидаров», обеспечивающих возможность проводить дистанционный контроль качественного и количественного состава загрязняющих веществ в пределах функционирования крупных промышленных объектов [13, 173]. В геоэкологии, гидрогеологии и инженерной геологии широко используются методы элетроразведки, которых в настоящее время насчитывается более 50 модификаций, предназначенных как для глубинных исследований, так и для изучения верхней части разреза. В зависимости от принципа

исследования выделяются: методы сопротивлений (методы постоянного тока) и электромагнитные методы.

Геология полезных ископаемых. Ее методы являются пока практически единственными, позволяющими изучать и оценивать ресурсную функцию литосферы, точнее, ее минерально-сырьевые ресурсы. При этом следует учитывать, что методы геологии полезных ископаемых и подсчета их запасов не отвечают на главный вопрос – достаточности или недостаточности обеспечения ими нормального с экологических позиций существования и развития человеческого сообщества как социальной структуры. Этот вопрос остается пока открытым и требует доработки с привлечением методов экологических, медицинских и экономических наук.

Методы биологических, медицинских и санитарно-эпидемиологических наук. Эти методы широко используются при выполнении эколого-геологических исследований, сборе и анализе соответствующей биолого-медицинской информации.

Из биологических методов наиболее ценную информацию дают *биохимические, биосубстратные и биотестирование*. Первый из них основывается на изучении уровня содержания биологически активных форм химических элементов и их ассоциаций в растениях и живых организмах, а также определении коэффициентов биологического поглощения, биохимической активности, кларков содержаний и рассеивания. Анализируются укусы трав, листья и хвоя деревьев, мхи, лишайники, садовые и овощные культуры. Биосубстратные методы связаны с изучением биосубстратов живых организмов (кровь, слюна, волосы, ногти, зубы, молоко, моча, шерсть, а также «критические» органы – почки, печень, костная ткань и т.д.). В этих биосубстратах определяется содержание токсичных химических элементов и их соединений. Биотестирование (биоиндикация) как метод исследования начал использоваться достаточно широко сравнительно недавно. Наибольшее развитие он получил при оценках качества поверхностных и подземных вод. Сущность метода – по функциональному состоянию (поведению) тест-объектов (разнообразные дафнии, водоросли – хлорелла, рыбы – гуппи) дать интегральную оценку качества воды и выяснить, возможно ли использовать ее для питьевых целей.

В медицине для целей экологической оценки условий территории широко применяются методы медицинской статистики: статистические данные по заболеваемости всего населения или «индикационной» группы – детского населения, рождаемости, патологии новорожденных и т.д. На этой основе оценива-

ются медико-санитарные (медико-гигиенические) условия проживания населения и существование живых организмов. Этот метод учитывает число человеческих жертв и число пострадавших в результате проявления катастрофических и опасных природных процессов, оценивается воздействие этих процессов на человека. Следует упомянуть и о медико-демографическом методе, дающем представление о пространственной приуроченности и этиологии заболевания населения, ореолах и очагах различных токсикозов, т.е. о характере, частоте и территориальной приуроченности заболеваний населения. Динамика показателей заболеваемости в течение нескольких лет позволяет выявить определенные тенденции в состоянии здоровья детей; анализ демографических и репродуктивных показателей; анализ медицинской документации; картографирование территории и анализ распространенности маркерной хронической патологии у детей для выявления особо значимых загрязнителей окружающей среды; анкетирование населения [173].

Социально-экономические науки. С ними связаны методы оценки экономического риска, экономического ущерба и социального страхования населения. Методика таких оценок с учетом геологических факторов содержится в серии публикаций А. Л. Рагозина (1995, 1997) [143], Г. Л. Коффа и др. (1997, 1998) [113, 114] и ряда других исследователей.

2.3. Специализированные геоэкологические исследования

К специальным методам получения и обработки геоэкологической информации относятся геоэкологическое и эколого-геологическое картографирование; региональный геоэкологический анализ и интегральная оценка геоэкологической обстановки — условий (экологического состояния природно-геологической среды); геоэкологический мониторинг, геоэкологическое моделирование, геоэкологическое прогнозирование.

2.3.1. Геоэкологическое и эколого-геологическое картографирование

Это основной метод исследования пространственного распределения объемов геологического пространства с различными геоэкологическими условиями. Он основан на рациональном сочетании частных прямых или косвенных наземных методов точечного или линейного изучения параметров геоэкологических условий и методов (площадной) экстраполяции этих данных. В качестве

последних обычно используются аэро- космофотоматериалы и данные аэро- геофизических работ. Эколого-геологическое картирование как специальный метод экологической геологии находится на стадии разработки.

В настоящее время разработано несколько нормативных документов, регламентирующих проведение геоэкологических исследований и картографирования в качестве самостоятельного или комплексного вида исследований. В качестве самостоятельного вида специальных исследований коллективом института ВСЕГИНГЕО (1990) [160–162] разработаны «Требования к геолого-экологическим исследованиям и картографированию. Масштабы: 1:1 000 000–1:500 000, 1:200 000–1:100 000, 1:50 000–1:25 000». В качестве комплексного вида работ с другими видами съемок (геологической, гидрогеологической, геохимической) разработаны: «Инструкция по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 (ВСЕГЕИ, 1995) [33]; «Требования к гидрогеологической съемке масштаба 1:200 000 в комплексе с эколого-геологическими исследованиями и картографированием (ВСЕГИНГЕО, 1995) [163]; «Требования к гидрогеологическому доизучению масштаба 1:200 000 с эколого-геологическими исследованиями и картографированием» (ВСЕГИНГЕО, 1995) [164]; Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1:1 000 000 (ИМГРЭ, 1999) [80, 165].

2.3.1.1. Принципы картографического отображения экологического состояния геологической среды

Принципы геоэкологического картографирования

Картографическое отображение экологического состояния геологической среды – процесс составления *эколого-геологической (или геоэкологической) карты (ГЭК)* при проведении эколого-геологического (или геоэкологического) картографирования геологической среды, которое осуществляется по определенным принципам, представляет собой ряд последовательных операций по формализации многоплановой информации о природно-геологической, социально-экономической, технической ситуации той или иной территории. Это один из основных методов исследования пространственного распределения объемов геологического пространства с различными эколого-геологическими условиями. Он основан на рациональном сочетании частных прямых или косвенных наземных методов точечного или линейного изучения параметров эколого-геологических условий и методов (площадной) экстраполяции этих дан-

ных. В качестве последних обычно используются материалы аэрокосмических съемок и данные аэрогеофизических работ. Обычно при геоэкологическом картографировании сначала составляются частные и вспомогательные карты, затем базовые параметрические карты, далее – аналитические и на последнем этапе – основные синтетические карты.

Общепризнанная концепция геоэкологического (эколого-геологического) картографирования в настоящее время находится в стадии становления; разработанные Всероссийским научно-исследовательским институтом гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО) совместно с Всероссийским научно-исследовательским геологическим институтом им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Институтом минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ) и другими организациями методические документы по геоэкологическому (эколого-геологическому) картографированию являются базовыми для геолого-экологических исследований и картографирования (ГЭИК). Данное направление тематического картографирования развивается, используя методологию и методику традиционных геологических наук – гидрогеологии, инженерной геологии, геохимии, геодинамики, геофизики и др. Большая часть таких карт создается в организациях МПР России в рамках государственных геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических съемок или как самостоятельный вид работ. Поэтому геоэкологические (эколого-геологические) исследования, включая составление карт, должны проводиться в соответствии с Требованиями к геолого-экологическим исследованиям и картографированию (ВСЕГИНГЕО, 1990) и Методическими рекомендациями по составлению эколого-геологических карт (ВСЕГИНГЕО, 1994, 1998) с соблюдением стадийности работ, по листам топографических карт определенного масштаба.

Под геоэкологическим картографированием (в организациях МПР России) понимается отображение на топографической основе определенного масштаба экологического состояния геологической среды (как многокомпонентного объекта с быстро изменяющимися во времени и пространстве свойствами) в естественных условиях и его изменений, вызванных хозяйственной деятельностью (Кочетков, Вартанян, Голицын, 1998; Кочетков, Грабовников, Леоненко, 1998) [115, 116].

Целью геоэкологического картографирования, по мнению Г. А. Голодковской и М. Б. Куринова (1998) [22], является создание моделей, которые могли бы использоваться для обоснования предельно допустимых

нагрузок на окружающую среду, обоснования и организации геоэкологического мониторинга, прогнозирования геоэкологической ситуации, обоснования управляющих решений и в конечном счете для выбора концепции экономического развития региона и экологической политики.

Как отмечено выше, в настоящее время коллективами ВСЕГИНГЕО, ВСЕГЕИ, ИМГРЭ разработано несколько нормативных документов, регламентирующих проведение эколого-геологических исследований и картографирования в качестве самостоятельного или комплексного вида исследований. В них достаточно подробно изложены методы полевых исследований для получения геоэкологической информации, однако предлагаются различные подходы по критериям экологической оценки геологической среды, видам карт, способам отображения основных элементов на картах.

Несмотря на значительный опыт проведения геоэкологического картографирования в России, существующие методики составления ГЭК разработаны недостаточно; до сих пор отсутствуют единые принципы составления итоговых геоэкологических карт, унифицированные методики их составления, а также типовые геоэкологические легенды. Это было отмечено на Всероссийской конференции «Геоэкологическое картографирование» (Москва, ВСЕГИНГЕО, 1998), на Международной конференции «Экологическая геология и рациональное недропользование» (Санкт-Петербург, СПбГУ, 2000) и др. Главным недостатком, как отмечает Ю. К. Шипулин [188], является отсутствие общепринятой концепции геоэкологического картографирования. Недостаточно разработаны научно-методические основы и критерии региональной оценки экологической опасности и риска освоения территорий. Поэтому многие региональные методики базируются на различных подходах к выделению основных элементов на ГЭК – географических ландшафтов и геологической среды (ВСЕГИНГЕО), геоморфологических ландшафтов и геологической среды (ВСЕГЕИ), геохимических полей (ИМГРЭ), а также различных геологических, инженерно-геологических, геоморфологических, геоботанических, природно-территориальных и других комплексов. В большинстве методик в качестве итоговых ГЭК предлагаются двухлистовые картографические модели, где на одном листе отображаются геоэкологические условия (ситуация, состояние геологической среды), на втором по одному из показателей или по интегральному показателю в бальной форме отображается степень экологической опасности или риска. В. Н. Островский и Л. А. Островский [139] считают, что целесообразно составление только одной карты – экологического состояния геологической среды,

при этом в качестве основы для районирования целесообразно использовать гидрогеологическое районирование на геологической основе.

Таким образом, эколого-геологическое картирование как специальный метод экологической геологии находится на стадии разработки. Это связано в основном со слабой разработкой принципов картографического отображения экологического состояния геологической среды, а также отсутствием общепринятой концепции, общей методологии региональных геоэкологических исследований и картографирования.

Оценка состояния геологической среды требует системного, объективного и оптимального отображения геоэкологической (эколого-географической и эколого-геологической) информации средствами современной картографии и не должна зависеть от ведомственных интересов, однако должна учитывать специализацию предприятий и региональные условия территорий.

2.3.1.2. Систематика геоэкологических и эколого-геологических карт

Геоэкологические и эколого-геологические карты относятся к категории тематических геологических карт, по составлению которых в мировой и отечественной практике геологического картографирования накоплен огромный опыт, поэтому целесообразно учитывать его при систематике эколого-геологических карт с учетом специфики геоэкологических условий.

Подразделение эколого-геологических карт по объему и характеру отображаемой информации

По этому признаку эколого-геологические карты, по предложению МПР РФ и ВСЕГИНГЕО, подразделены на следующие категории [116]:

– ***параметрические карты*** фиксируют показатели состояния отдельных компонентов геологической среды, т.е. отображается один картируемый параметр – показатель. Например, карты развития оползней, карста или других экзогенных геологических процессов (ЭГП), распространения нормируемых веществ в питьевых подземных водах, карты распределения отдельных компонентов в почвах конкретных почвенных горизонтов;

– ***интегральные карты*** отражают экологическое состояние отдельных компонентов геологической среды, т.е. отображается группа показателей. Например, карты состояния ресурсов подземных питьевых вод, загрязнения и нарушенности почвенного покрова, пораженности геологической среды ЭГП. Аналитические карты базируются на обобщении большого количества наблю-

даемых показателей, анализе природных и антропогенных факторов, влияющих на них;

– **синтетические карты** являются картографическими оценочными и прогностическими моделями состояния геологической среды в целом или основных ее компонентов. Это сложно построенные карты с отображением комплексной эколого-геологической информации. Они должны содержать элементы прогноза состояния геологической среды и базироваться на синтезе всей имеющейся о ней информации с учетом влияния на нее других природных сред. Синтетической является, например, изданная геоэкологическая карта России и сопредельных государств масштаба 1:2 500 000 и карты функционирования гидродеформационного поля Земли [116]; составление на основе геохимической, ландшафтной и другой информации эколого-геохимической карты какой-либо территории; составление собственно эколого-геологической карты территорий.

Классификация эколого-геологических карт по содержанию

По содержанию эколого-геологические карты целесообразно подразделять на четыре типа [173] (рис. 3.2):

- карты эколого-геологических условий (обстановок);
- карты эколого-геологического районирования;
- карты эколого-геологические прогнозные;
- карты эколого-геологические рекомендательные.

Первый из этих типов теоретически должен относиться к категории фактологических карт, однако во многих случаях, в частности при отображении данных в относительных единицах, такие карты составляются как фактолого-оценочные.

Второй тип эколого-геологических карт представляет собой карты сугубо оценочные, третий – прогнозные, а четвертый содержит природоохранные, точнее литоохранные, рекомендации, направленные на регулирование эколого-геологических условий с целью их сохранения или улучшения.

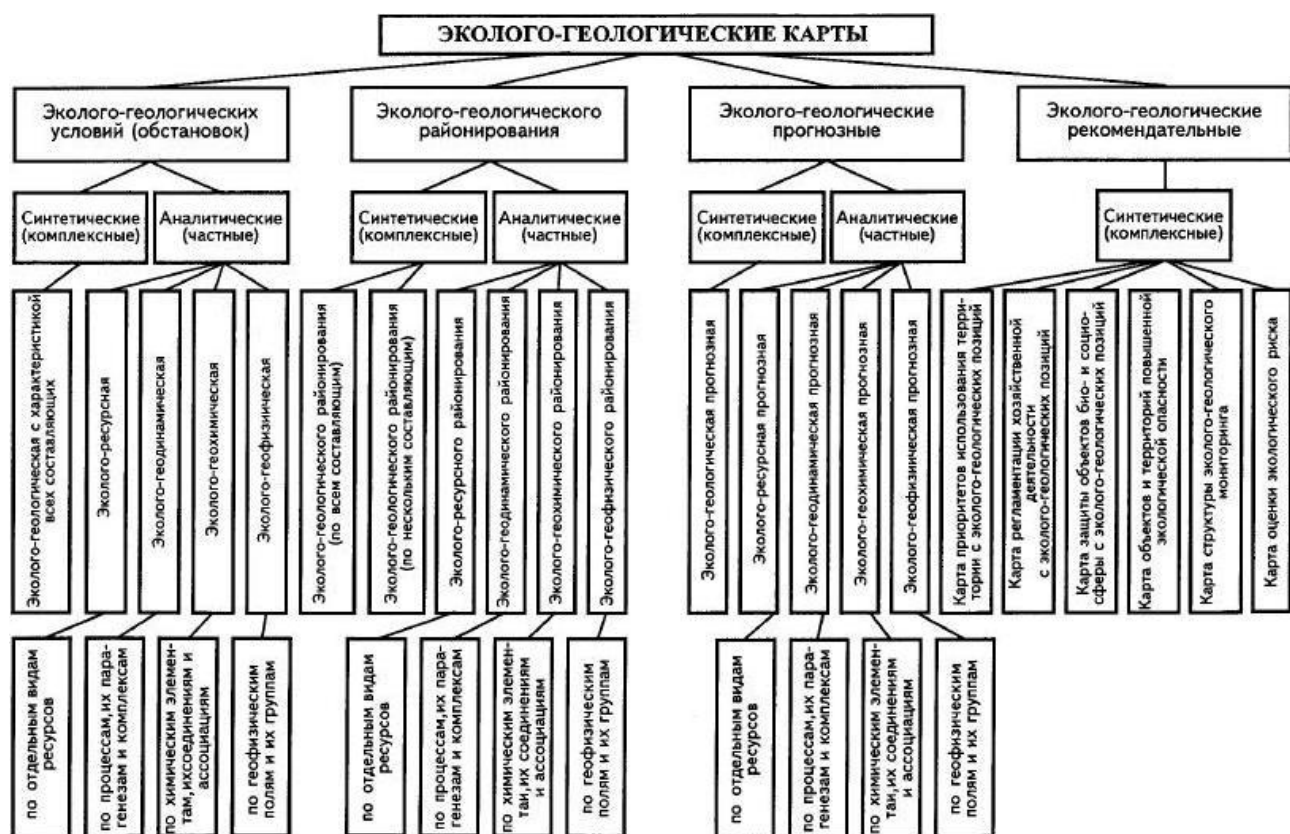


Рис. 2.1. Классификация эколого-геологических карт по содержанию [173]

Каждый из названных четырех типов карт подразделяется *по характеру передаваемой содержательной информации* на два вида: аналитические (часто называемые частными) и синтетические (комплексные). Первые характеризуют или на них оценивается, прогнозируется один или несколько показателей эколого-геологических условий, а на синтетических картах отображается весь их комплекс, в совокупности определяющий современную или прогнозируемую эколого-геологическую обстановку.

Карты эколого-геологических условий отражают комплекс параметров или отдельные характеристики литосферы (геологической среды), которые характеризуют возможность воздействия компонентов литосферы на биоту (человека, фауну, флору, экосистему в целом). Это может быть, например, загрязненность токсикантами, пораженность геологическими процессами, неоднородность геофизических полей, недостаток для живого различных видов ресурсов. Эта прямая или относительная количественная или качественная информация дополняется сведениями об эндемичных заболеваниях населения, параметрах деградации экосистем и ее биотических компонентов. На этих картах все необходимые данные отображаются способом раздельного картографирования; суммарная их оценка по степени благоприятности, комфортности или безопас-

ности проживания населения или экологического состояния экосистемы не дается. Легенда таких карт состоит из нескольких разделов, два из которых – информация об эколого-геологических свойствах литосферы и ее компонентов и о состоянии экосистемы и ее биотической составляющей с акцентом на человека – являются главными.

На картах эколого-геологических условий, синтетических по содержанию, картографическими приемами отображают всю совокупность необходимых параметров современной эколого-геологической ситуации. Такие карты являются основной разновидностью карт, комплексно характеризующих эколого-геологическую обстановку любой территории. Аналитические же карты этого типа несут достаточно полную пространственную информацию лишь об одной, как правило, характернейшей и важной для решения поставленной задачи черте этой обстановки. Содержание таких карт может быть разнообразным, а число достаточно большим. Соответственно, аналитические карты, отражающие эти ситуации, целесообразно называть «эколого-ресурсной картой», «эколого-геодинамической картой», «эколого-геохимической картой», «эколого-гидрогеологической картой», «эколого-геофизической картой».

Карты эколого-геологического районирования – это оценочные карты, на которых в тех или иных категориях дается оценка современного состояния эколого-геологических условий, как правило, способом ранжирования их на классы состояний. Это важнейший тип в составе эколого-геологических карт, являющийся базовым для прогнозных оценок и природоохранных рекомендаций. На этих картах на основе имеющейся эколого-геологической информации дается ее оценка с позиций комфортности и безопасности проживания человека и функционирования экосистем. В легенде карт районирования, как и в легенде карт условий, обязательно есть два блока: эколого-геологической информации о литосфере и ее компонентах и информация об экосистемах и их биотической составляющей. Принципиальное отличие этой информации в том, что на карте условий это фактологические характеристики, а на карте районирования – экологическая оценка этих характеристик с выделением классов состояния эколого-геологических условий литосферы и связанных с ними зон экологического состояния экосистем. Пространственное обособление территорий с определенным классом экологического состояния и является сущностью таких карт [173].

Карты эколого-геологические прогнозные отображают пространственно-временной прогноз изменения эколого-геологических условий в ходе естественной динамики природной среды и главное – в процессе хозяйственного

освоения территории и функционирования природно-технических систем. На картах этого типа может быть отражен как комплексный (по всей совокупности параметров, условий и вероятностных природных и техногенных воздействий), так и частный (изменение какого-либо одного фактора под воздействием определенного вида) прогноз изменения эколого-геологических условий. Первому случаю отвечает синтетическая, второму – аналитическая эколого-геологическая прогнозная карта. Легенда карт этого типа по своей структуре близка к карте эколого-геологического районирования. Ее принципиальное отличие заключается в прогнозном характере даваемых оценок.

Карты эколого-геологические рекомендательные базируются на эколого-геологической и социально-экономической информации. На этих картах в графической форме могут быть отображены рекомендации по широкому кругу вопросов – от рационального использования территорий (с экологических и геологических позиций) до регламентации хозяйственной деятельности и защиты объектов био- и социосферы. Карты этого типа составляются обычно как карты синтетические. Это обусловлено тем, что они призваны в графической форме отобразить рекомендации для целостного решения возникшей экологической задачи, связанной с особенностями эколого-геологических условий. Как считает В. Т. Трофимов (2002), отнесение карт данного типа к категории эколого-геологических – вопрос дискуссионный.

2.3.1.3. Классификация и характеристика геоэкологических и эколого-геологических карт по масштабу

В соответствии с классификацией геологических карт геоэкологические и эколого-геологические карты (по предложению МПР РФ и ВСЕГИНГЕО) по масштабу подразделяются на:

- обзорные (масштаб мельче 1:1 000 000);
- мелкомасштабные (масштаб 1:1 000 000–1:500 000);
- среднемасштабные (масштаб 1:200 000–1:100 000);
- крупномасштабные (масштаб 1:50 000–1:25 000 и крупнее).

Обзорные эколого-геологические карты имеют главным образом научное и учебное значение, показывают сравнительное геоэкологическое состояние крупных регионов, могут служить основами для принятия стратегических решений правительством и руководителями хозяйственных отраслей, законодательными органами страны [115] и могут использоваться при проработке вопросов на этапах предпроектных разработок. При этом *обзорные* карты обычно

составляются путем камеральной обработки фондовых и литературных источников, а *мелкомасштабные* – на основе специализированного геоэкологических исследований и картографирования с полевыми работами. *Среднемасштабные* карты являются основными по масштабу картами, с достаточной детальностью освещающими особенности эколого-геологических условий. Они могут использоваться на тех же этапах, а также непосредственно при проектировании объектов. *Крупномасштабные* карты, в большинстве случаев составляемые как карты специальные, используются непосредственно при проектировании объектов и экологически ориентированных мероприятиях, включая защитные, и, как правило, призваны решать конкретные хозяйственно-экономические и социальные задачи отдельных районов и объектов, в т.ч. районов чрезвычайных экологических ситуаций [75].

Примером геоэкологических и эколого-геологических обзорного уровня могут быть карты из комплекта «Обзорные геохимические и эколого-геологические карты России», разработанные в 1995–1996 гг. большим коллективом авторов ВСЕГИНГЕО и ИМГРЭ (главные редакторы карт – В. П. Орлов, Э. К. Буренков, Г. С. Вартанян). В состав комплекта входит *Карта оценки экологического состояния геологической среды России масштаба 1:5 000 000*, которая отображает экологическое состояние геологической среды, обусловленное воздействием двух групп факторов – природных и техногенных, переданных разной системой условных знаков. Одна из важнейших карт данного комплекта – *Эколого-гидрогеологическая карта России масштаба 1:5 000 000* – отображает гидрогеологические показатели, имеющие экологическое значение: защищенность подземных вод от загрязнения, вертикальная и горизонтальная гидродинамическая зональность, минерализация и химический состав безнапорных и субнапорных вод, загрязнение подземных вод на действующих водозаборах и другие параметры. Дано обоснование содержания легенды карты, рассмотрены особенности эколого-гидрогеологических условий природных регионов России и их изменения под влиянием техногенеза [189].

Одна из эколого-геологических карт обзорного уровня крупных регионов РФ – *Эколого-геологическая карта Северо-Западного федерального округа* (масштаб 1:9 000 000, 2006 г.; по материалам международного проекта «Эко-геохимия Баренц-региона» и результатам ЭГИК-1000), в легенде которой показаны загрязнение почв и поверхностных вод, защищенность от загрязнения перспективного для водоснабжения горизонта напорных вод, районы интенсивного развития ЭПП, районы развития многолетнемерзлых пород, морфоген-

нетические типы рельефа, техногенную нагрузку – основные отрасли промышленности (рис. 2.2) [34].

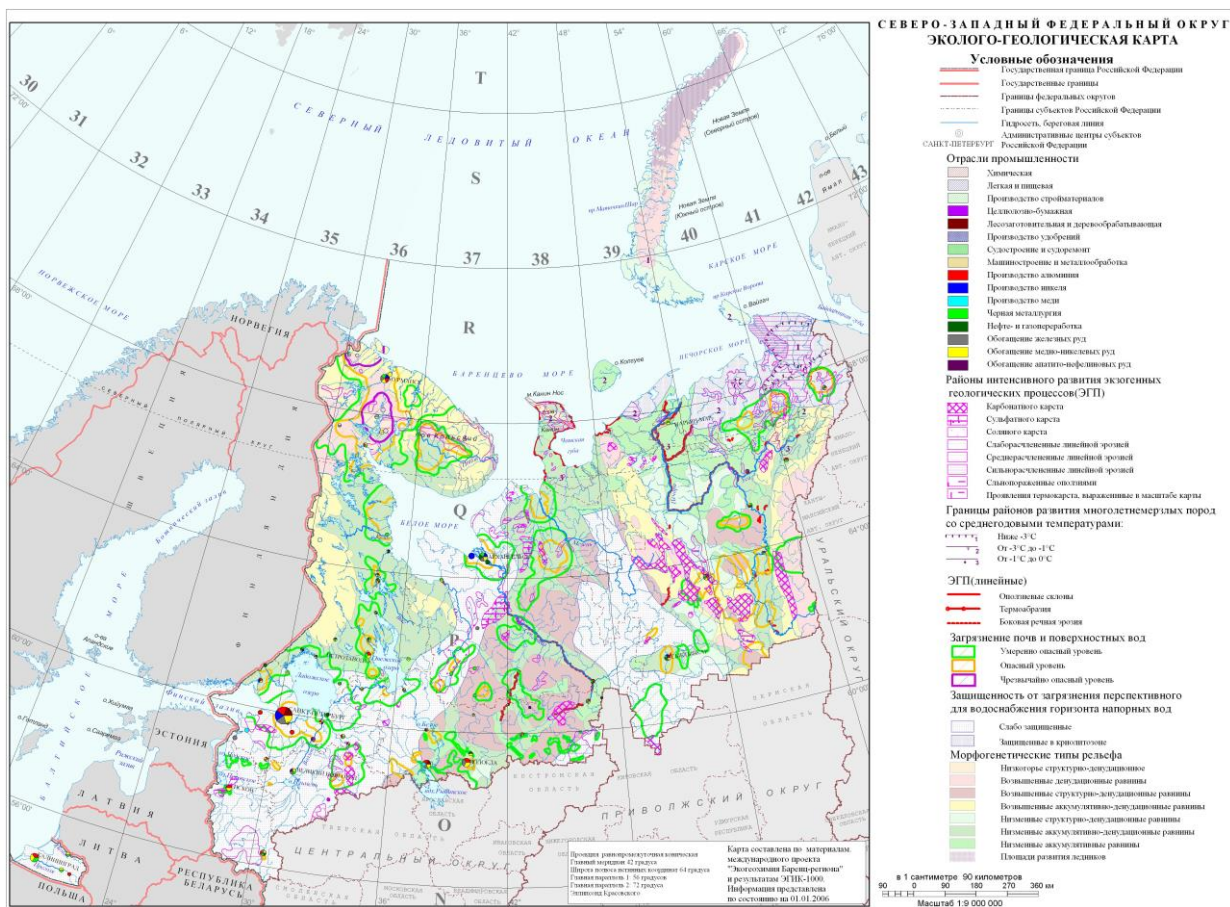


Рис. 2.2. Эколого-геологическая карта Северо-Западного федерального округа [34]

В комплекты карт по составлению Государственной геологической карты России масштабов 1:1 000 000 и 1:200 000 входят эколого-геологические карты (схемы), составленные по методикам ВСЕГЕИ. Как правило, они составляются на один масштабный ряд мельче, чем основной масштаб геологической карты. Так, при масштабе геологической карты 1:1 000 000 составляются эколого-геологические карты (схемы) масштаба 1:2 500 000, а при масштабе геологической карты 1:200 000 составляются эколого-геологические карты (схемы) масштаба 1:500 000, но могут быть и другие масштабы карт (как мельче, так и крупнее, т.е. в основном масштабе геологической карты).

Информация о содержании этих карт приводится в объяснительных записках к геологическим картам. Отчеты по составлению карт хранятся в государственных фондах геологической информации. Карты и объяснительные записки, а также цифровая информация по картам последних лет размещены на официальном интернет-ресурсе ВСЕГЕИ [34]. Некоторые примеры этих карт приведены ниже.

Эколого-геологическая схема территории листа М-38 (Волгоград) масштаба 1:2 500 000 (рис. 2.3) входит в состав комплекта Геологической карты территории листа М-38 масштаба 1: 1 000 000 и относится к мелкомасштабным экологическим картам общего назначения. В качестве основных объектов эко-геологического картографирования были приняты площади с различными типами функциональной нагрузки на основе проведения специального районирования.

С определяющим типом землепользования непосредственно связаны широта спектра компонентов геологической среды, подвергшихся изменениям под влиянием антропогенеза (техногенеза), и степень этих изменений.

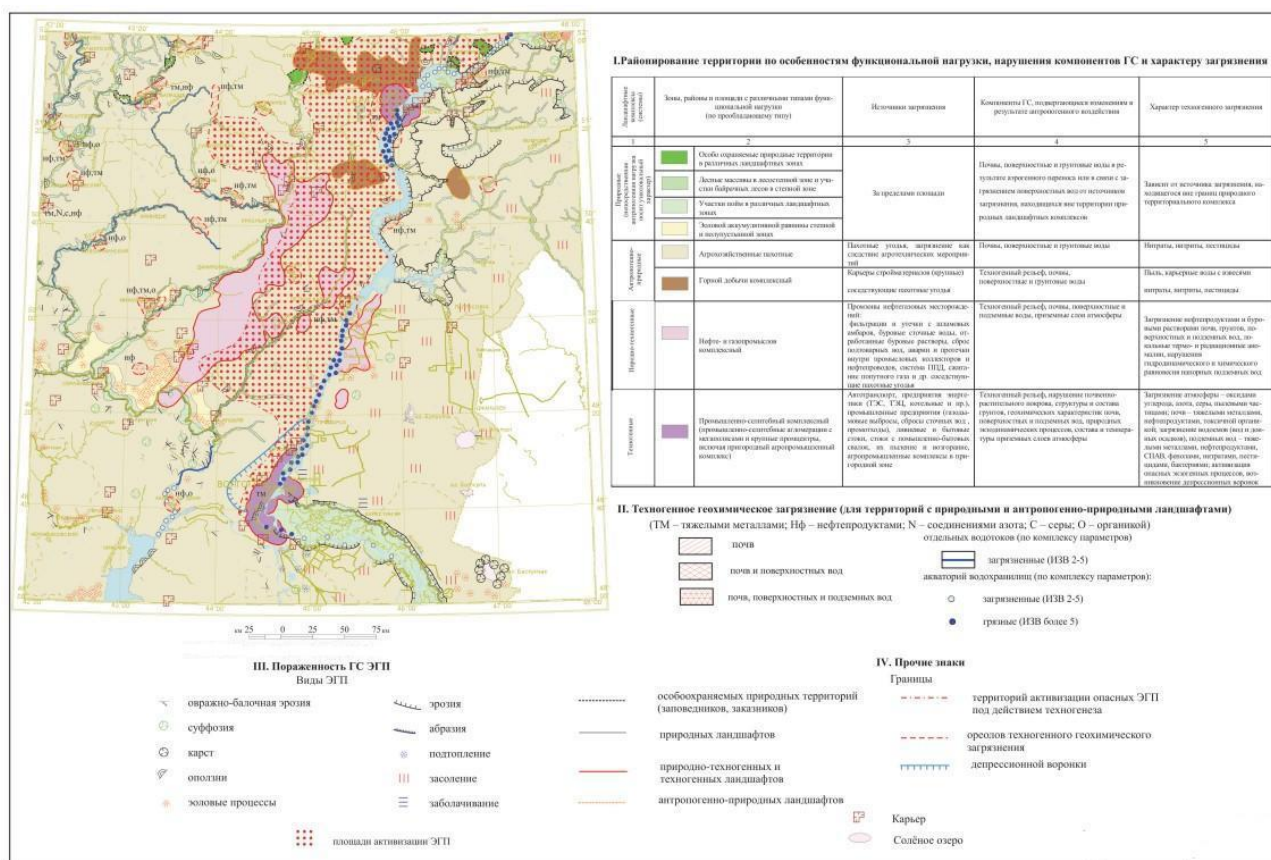


Рис. 2.3. Эколого-геологическая схема территории листа М-38 (Волгоград)

На эколого-геологической схеме в общепринятой цветовой гамме нашли отражение в порядке увеличения воздействия на ГС следующие ландшафтные комплексы:

– природные ландшафтные комплексы (системы), к которым отнесены не испытывающие непосредственно техногенного воздействия площади лесных массивов, участков пойм, заповедники, заказники и др. Выделение этих площа-

дей проведено на основе данных топокарт, карт землепользования и дешифрирования КС Landsat;

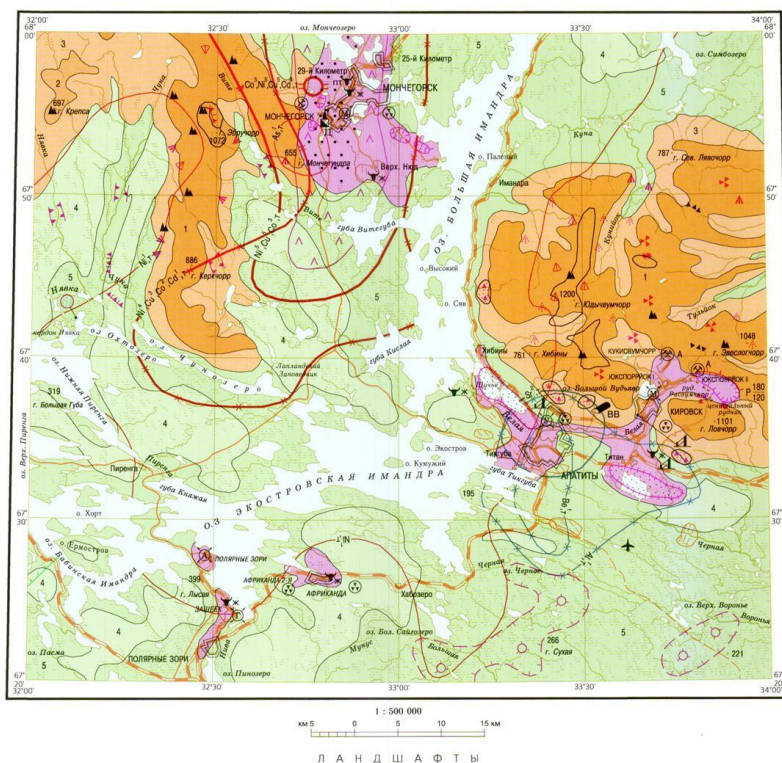
- антропогенно-природные комплексы – территории преимущественно агрохозяйственного воздействия, дифференцированные для преимущественно пахотного и пахотно-животноводческого использования, имеющие качественные отличия по характеру загрязнения. Сюда же отнесены районы ограниченной горнодобычи (в основном строительных материалов, разрабатываемых карьерным способом) с окружающими сельхозугодьями. Данный класс объектов характеризуется тем, что техногенные нарушения не влекут необратимых для ГС последствий и потенциал ее самовосстановления не исчерпан;

- природно-техногенные комплексы охватывают районы нефте- и газодобычи и отличаются как глубиной и разнообразием компонентов ГС, затронутых техногенезом, так и интенсивностью техногенного загрязнения. Природное равновесие на этих территориях необратимо нарушено, необходима длительная и масштабная рекультивация;

- к техногенным комплексам отнесены промышленно-селитебные зоны, включающие как собственно территорию мегаполисов с городами-спутниками (промышленно-селитебных агломераций), так и пригородных зон с развитием пригородного агрохозяйственного комплекса, свалок, коммуникаций. Комплексный длительный характер техногенного воздействия на все компоненты ГС очевиден. Кроме основной информации по площадям с различной функциональной нагрузкой в легенде на эколого-геологической схеме нашли отображение ареалы техногенного геохимического загрязнения почв, поверхностных и грунтовых вод в природных и антропогенно-природных ландшафтных комплексах, а также отдельных поверхностных водотоков и водохранилищ на основе частичного использования классификации, приводимой в монографии «Недра России», Т. 2 (2002). На схеме отображены участки проявления отдельных видов ЭГП и площади активизации ЭГП под влиянием техногенеза.

На рис. 2.4–2.7 приведены примеры эколого-геологических карт масштабов 1:500 000 и 1:200 000 из комплектов государственных геологических карт масштаба 1:200 000, легенды их однотипные в соответствии с методиками ВСЕГЕИ (<https://vsegei.ru/ru/info/>) [34].

СХЕМА ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ПРИРОДНЫЕ НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБЪЕКТЫ (а – ареалы и зоны развития, б – локальные участки и внемасштабные объекты)

- Экзогенные
 - Селеопасные участки
 - Лавиноопасные участки
 - Осыпи
 - Крупнообломочные подвижные осыпи, курумы
 - Маломощные щебнистые образования
 - Выходы скальных пород
 - Участки вступления грунтов
 - Подтопление
 - Активная аккумуляция рыхлых отложений (ослоновых)
 - русловая (интенсивное врезание)
 - боковая (подмыв берегов)
 - почва

ТЕХНОГЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ, НАРУШАЮЩИЕ И ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ СРЕДУ (КОМПЛЕКСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ) (а – ареалы и зоны развития, б – локальные участки и внемасштабные объекты)

- Карьеры с образованием отвалов (числитель – глубина карьера, в м, знаменатель – высота отвала в м, символ – вид добываемого полезного ископаемого)
- Карьеры
- Хвостохранилища (отстойники)
- Техногенная пустошь
- Обогатительные фабрики
- Места подземных ядерных взрывов
- Заводы, фабрики (Ц – цветная металлургия)
- Электростанции (тепловые на угле – У, на мазуте – М, гидроэлектростанция – Г, атомные – А)
- Свалки
- Склады и хранилища взрывчатых веществ (ВВ)
- Рудники законсервированные
- Рудники апатитовые
- Города, поселки городского типа
- Животноводческие фермы, комплексы (ж), птицеводческие (пт)
- Участки лесозаготовок
- Железные дороги
- Автомобильные дороги с асфальтовым покрытием
- Тракторно-санные и вездеходные пути
- Пахотные земли
- Аэродромы

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ (а – выражающиеся в масштабе карты, б – не выражающиеся в масштабе карты)

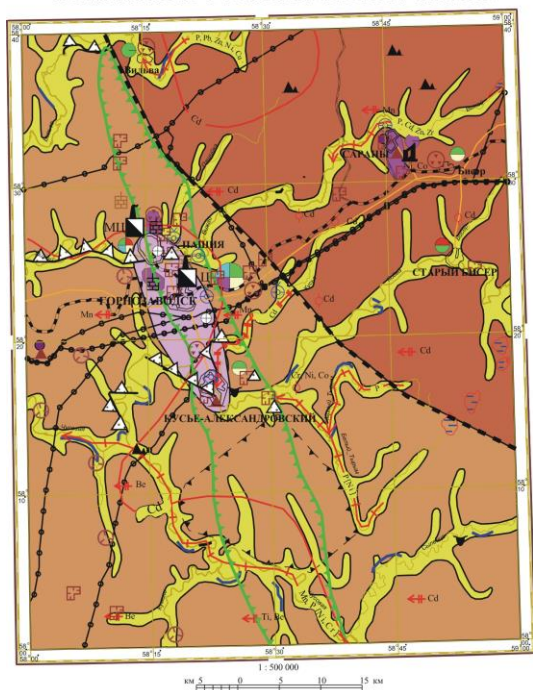
	Концентрация загрязнения в аномалиях				
	до 16 ПДК	16–32 ПДК	32–64 ПДК	64–128 ПДК	>128 ПДК
В рыхлых отложениях	As, t	Sr, t			Ni, Cu, Co, t
Во мху	Be, t	Co, t	Cu, t	Ni, t	
В бассейнах (озера) в жидкой фазе					Co, Ni, Cu, Co, t

Примечания: 1. Концентрация элементов-загрязнителей – цифра справа от символа элемента.
1 – до 16 ПДК 3 – 32–64 ПДК 5 – более 128 ПДК
2 – 16–32 ПДК 4 – 34–128 ПДК
2. Тип аномалии, т – техногенная

Группа	Отдел	Подотдел	Тип	Подтип	Индекс	К л а с с	
						Макрорельеф, литология коренных пород, четвертичных отложений, почвы, растительность	
П р и р о д н ы е							
Бореальная, континентальная	П л а т ф о р м а	Г о р ы	Горная тундра	Средние горы	1	Средневысотные глыбовые (островные) горы, глубоководные, денудационно-тектонические, сложенные интрузивными породами основного и среднего состава. Верхние части склонов – крутые, средней крутизны, покрытые элювиальными, делювиальными, коллювиальными и реже ледниковыми отложениями. Почвы – горные тундровые (примитивные). Растительность – лишайники (ягель).	
				Нижние горы	2	Нижние горы, денудационно-тектонические мелко-среднерасчлененные на интрузивных породах различного состава и метаморфизованных вулканогенно-осадочных отложениях. Вершины куполообразные, склоны средней крутизны, внизу пологие, покрытые элювиально-делювиальными и ледниковыми отложениями. Почвы – горные тундровые (примитивные). Растительность – лишайники (ягель), редкий кустарник.	
			Северная тайга		3	Склоны средневысотных глыбовых и низких гор на интрузивных породах различного состава и метаморфизованных вулканогенно-осадочных отложениях. Склоны средней крутизны, внизу – пологие, покрытые элювиально-делювиальными, делювиальными и ледниковыми отложениями. Почвы – горно-таежные оподзоленные. Растительность – сосна, ель, березовое редколесье.	
				Цокольные глубоководные	4	Цокольные глубоководные равнины, аккумулятивно-денудационные, сложенные в основном ледниковыми (валунные суглинки, реже валунные суглинки и валунные пески), а также флювиогляциальными (галечно-гравийно-песчаные разности) и биогенными отложениями. Почвы – подзолистые, иллювиально-гумусовые, иллювиально-железистые. Растительность – ель, сосна, береза.	
			Северная тайга	Цокольные мелкокорасчлененные	5	Цокольные мелкокорасчлененные равнины, аккумулятивно-денудационные, сложенные ледниковыми (валунные суглинки), озерно-ледниковыми (пески от тонкозернистых до грубозернистых, часто с гравием, галькой, валунами), озерными (мелко-среднезернистые пески, реже пески крупнозернистые, гравелистые), флювиогляциальными (галечники, пески) и биогенными отложениями. Почвы – подзолистые, иллювиально-гумусовые, иллювиально-железистые в комплексе с болотными. Растительность – сосна, ель, береза, ива, ольха.	
				Т е х н о г е н н ы й			
				6	Переотложенные породы в отвалах, техногенные осадки в хвостохранилищах, отстойниках, техногенная пустошь, техногенные ландшафты смешивания, построек и сооружений		

Рис. 2.4. Схема эколого-геологических условий территории листов Q-36-III, IV (Мончегорск, Апатиты)

СХЕМА ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ



1. Ландшафты					
Ландшафтные классы	Ландшафтные области	Географическо-территориальные области	Морфогеографический тип ландшафта	Классы	
				Макрорельеф, литология коренных пород, четвертичных отложений, почвы, растительность	
Природные					
Горно-холмистый рельеф осевой части Среднего Урала	Среднеуральская горно-холмистая область	Осетовская горно-холмистая область	Среднеуральский рельеф	1	Горно-холмистый рельеф осевой части Среднего Урала, развитый на метаморфизованных породах верхнего протерозоя. Отложения кайнозоя приурочены, в основном, к межгорным понижениям. Мощность четвертичных отложений редко превышает 5 м. Максимальные абсолютные отметки рельефа редко превышают 600 м. Почвы территории за мезен-четвертичный период не превышают 200-250 м. Почвы горно-лесные, подзолистые. Леса шихово-слоновые с примесью кедров и березы. По старым вырубам развиты вторичные мелколиственные леса.
				2	Низкогорный рельеф. Абсолютные отметки хребтов и увалов редко достигают 400 м. Коренные породы представлены известняками, доломитами, алевролитами, аргиллитами, песчаниками, редко вулканитами. Мощность четвертичных отложений редко превышает 5 м. В пределах эрозивно-структурной депрессии до 20-30 м. Почвы территории за мезен-четвертичный период 150-200 м. Почвы горные подзолистые, реже горно-лесные бурые. Леса шихово-слоновые с примесью березы. По старым вырубам развиты вторичные мелколиственные леса.
				3	Долинный рельеф. В долинах крупных рек (пр. Чусовая, Висыла, Койва, Викай, Сыльва, Кусма, Тарым, Кушмы, Пашинка) фрагментарно выделяются участки высокоподольных террас (исетская, уфимская, кустанайская и науртумская) и практически всюду (на крупных и малых реках) четко прослеживаются комплексы террас (камышинская и рожковская) и поймы. Ослабились гальчаники, глессама, глинки. Преобладают луговые и лугово-болотные почвы, разнотравные и осокново-кошачьи луга.
Техногенные					
Техногенно образованный и техногенно измененный ландшафт				4	Карьерные поля, отвалы, отстойники.
				5	Промышленные зоны городов и рабочих поселков.



Рис. 2.5. Схема эколого-геологических условий территории листа О-40-ХVІІ (Пашия, Пермский край)

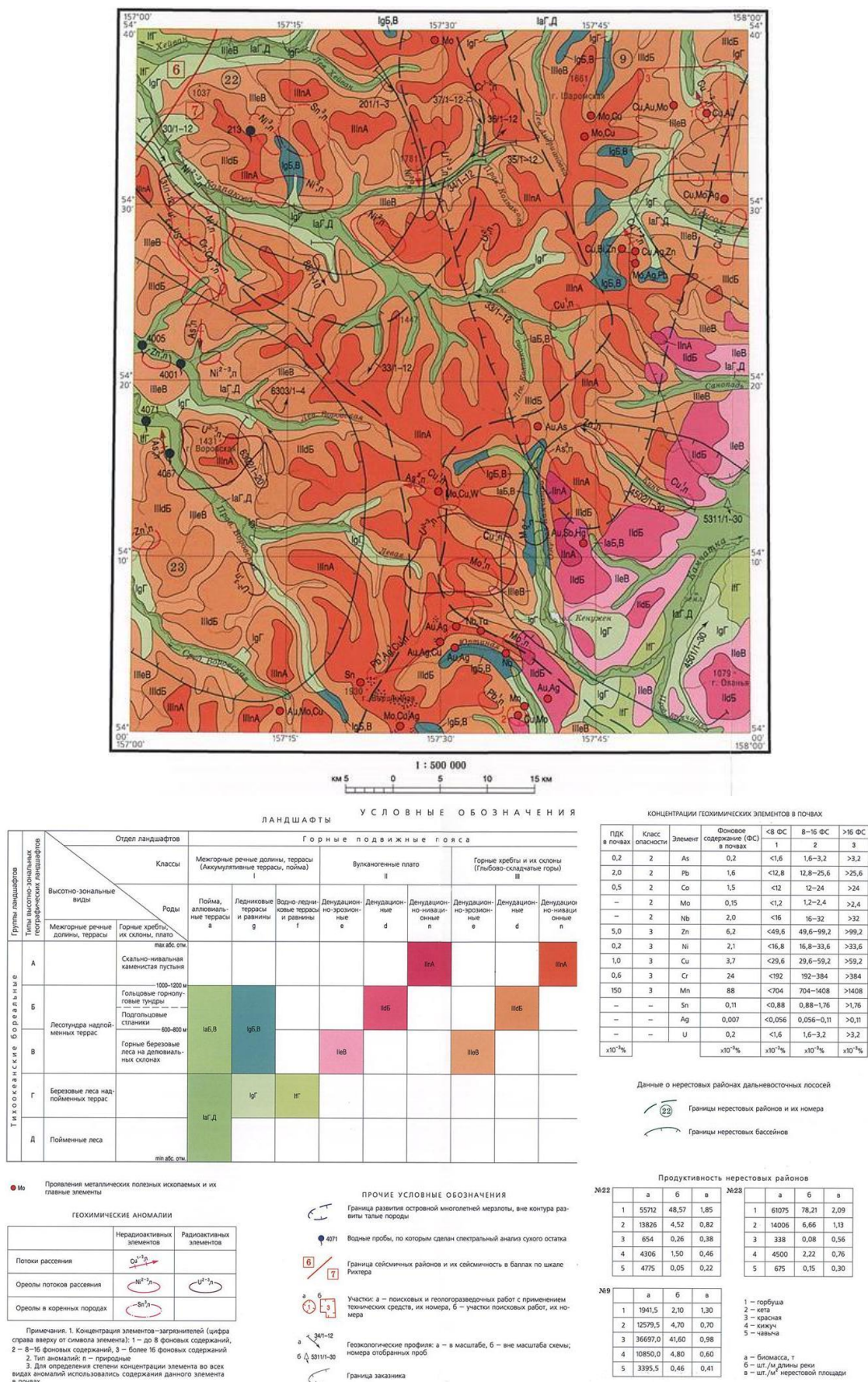


Рис. 2.6. Схема эколого-геологических условий территории листа N-57-XIV (Камчатка)

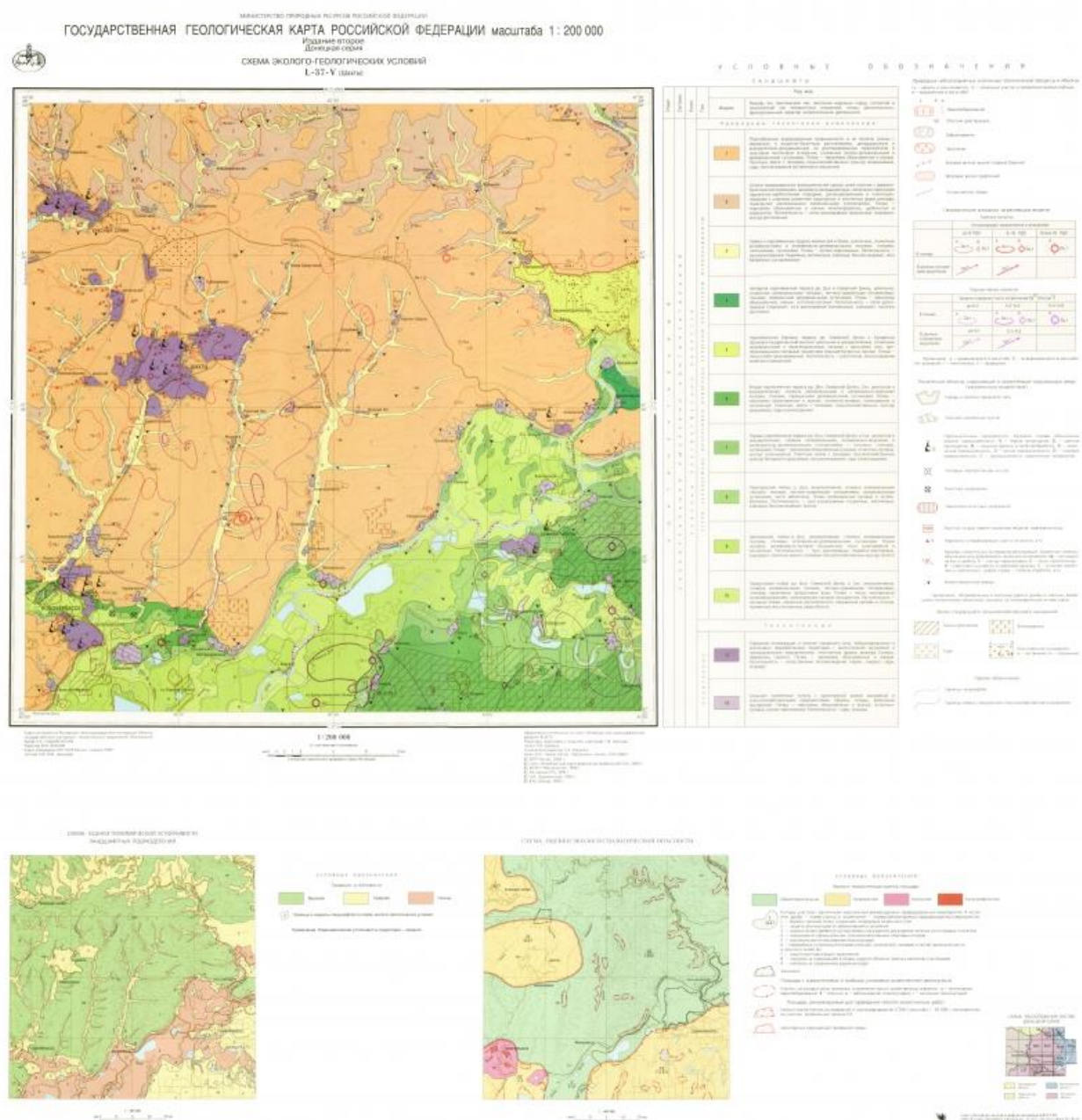


Рис. 2.7. Схема эколого-геологических условий территории листа L-37-V (Шахты, Донецкая серия листов)

Примером разномасштабных геоэкологических карт отдельных административных территорий является *Геоэкологическая карта Коми-Пермяцкого АО* масштаба 1:500 000 [82]. Карта составлена в ГИС-технологиях, базовая информация отвечает масштабу 1:100 000 (рис. 2.8).

ПРИМЕЧАНИЕ: Условные обозначения для Геоэкологической карты Пермской области без сокращения



2.3.2. Геоэкологический мониторинг

2.3.2.1. Основные понятия мониторинга окружающей и геологической среды и классификация видов мониторинга

Термин «мониторинг» вошел в научный оборот из англоязычной литературы и происходит от английского слова *monitoring* – контрольное наблюдение. Современное значение этого слова можно определить как наблюдение, контроль, предупреждение.

Понятие мониторинга окружающей среды было впервые введено Р. Мэнном в 1972 г. на Стокгольмской конференции ООН (Munn, 1973). Программа ЮНЕСКО, принятая в 1974 г., определяет мониторинг как систему регулярных длительных наблюдений в пространстве и во времени, дающую информацию о прошлом и настоящем состояниях окружающей среды, позволяющую прогнозировать изменение ее параметров, имеющих особенное значение для человечества.

Общая теория мониторинга окружающей среды, обоснование и определение основных принципов и связанных с ними понятий развиты в нашей стране в основополагающих работах И. П. Герасимова, Ю.А. Израэля, Ф. Я. Ровинского, В. Е. Соколова и др. Теоретические вопросы по проблемам мониторинга геологической среды изложены в работах А. А. Бондаренко, Г. К. Бондарика, А. Г. Гамбурцева, Г. А. Голодковской, В. К. Епишина, А. Г. Емельянова, Ю. Ф. Захарова, В. А. Королева и др.

В концепции Ю. А. Израэля (1984, 1990) под мониторингом понимается система наблюдений, позволяющая выделить изменения состояния (и прежде всего загрязнение) биосферы под влиянием деятельности человека. Подобную систему он определил как мониторинг антропогенных изменений окружающей природной среды. Основная цель ее создания – предупреждение негативных последствий воздействия человека на природу. Для достижения этой цели необходимо решить задачи: 1) определить источники воздействия, а также причины антропогенных изменений; 2) оценить фактическое состояние природной среды; 3) выявить тенденции изменения, дать прогноз и оценку будущего состояния биосферы.

В концепции И. П. Герасимова (1975, 1985) [20] мониторинг – это система наблюдений и контроля за состоянием окружающей среды с целью рационального использования природных ресурсов, охраны природы и обеспечения стабильного функционирования геосистем различного хозяйственного назначе-

ния. Предметом исследования мониторинга выступает совокупность природных явлений, подверженная как естественным динамическим изменениям, так и преобразованиям со стороны человека. Изучение совокупности явлений представляет собой сложную комплексную задачу, поэтому предложено решать ее путем подразделения на несколько частных составляющих (уровней, ступеней). В зависимости от масштаба объектов и задач наблюдений И. П. Герасимовым (1981) выделено три блока мониторинга: биологический (санитарный), геосистемный (хозяйственный) и биосферный (глобальный) (табл. 2.3).

В методических подходах А. Г. Емельянова (1984, 1989) [29] отмечается, что основной целью мониторинга является предотвращение отрицательных последствий, связанных с хозяйственной деятельностью человека, однако объектами наблюдения чаще всего выступают отдельные компоненты природной среды: атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвы и биота, в ряде случаев – геосистемы и экосистемы. Соответственно, наибольшее развитие получили отраслевые звенья мониторинга – гидрометеорологические, гидрогеологические, геохимические и биологические, практически функционирующие как независимые системы наблюдения и контроля. Однако отраслевой подход к мониторингу не учитывает, что компоненты биосферы тесно связаны между собой и образуют сложные природные комплексы – геосистемы и экосистемы.

Таблица 2.3

**Система наземного мониторинга окружающей среды
(И. П. Герасимов, 1981)**

Блок мониторинга	Объекты мониторинга	Характеризуемые показатели	Службы и опорные базы
Биологический (санитарный)	Приземный слой воздуха	ПДК токсичных веществ	Гидрометеорологическая, водохозяйственная, санитарно-эпидемиологическая
	Поверхностные и грунтовые воды, промышленные и бытовые стоки и выбросы	Физические и биологические раздражители (шумы, аллергены)	
	Радиоактивные излучения	Предельная степень радиоизлучения	

Блок мониторинга	Объекты мониторинга	Характеризуемые показатели	Службы и опорные базы
Геосистемный (хозяйственный)	Исчезающие виды животных и растений	Функциональная структура природных экосистем и ее нарушения	
	Природные экосистемы	Популяционное состояние растений и животных	
	Агросистемы	Урожайность сельскохозяйственных культур	
	Лесные экосистемы	Продуктивность насаждений	
Биосферный (глобальный)	Атмосфера (тропосфера) и озоновый экран	Радиационный баланс, тепловой перегрев, газовый состав и запыление	Международные биосферные станции
	Гидросфера	Загрязнение больших рек и водоемов; водные бассейны, круговороты воды на обширных водосборах и континентах	
	Растительный и почвенный покровы, животное население	Глобальные характеристики состояния почв, растительного покрова и животных. Глобальные балансы CO ₂ и O ₂	
		Крупномасштабные круговороты веществ	

Антропогенное воздействие даже на один из компонентов может привести к нарушению комплекса в целом и тяжелым необратимым последствиям в природе. Отсюда следует, что оптимальное решение проблемы взаимоотношения общества и природы на всех уровнях (от локального до глобального) возможно лишь на основе организации комплексного геоэкологического мониторинга состояния окружающей природной среды.

В. Т. Трофимовым и др. (1997) разработана структура мониторинга окружающей среды, где основными блоками мониторинга являются: мониторинг

геологической среды, географический мониторинг, биологический мониторинг и социальный мониторинг (рис. 2.9).

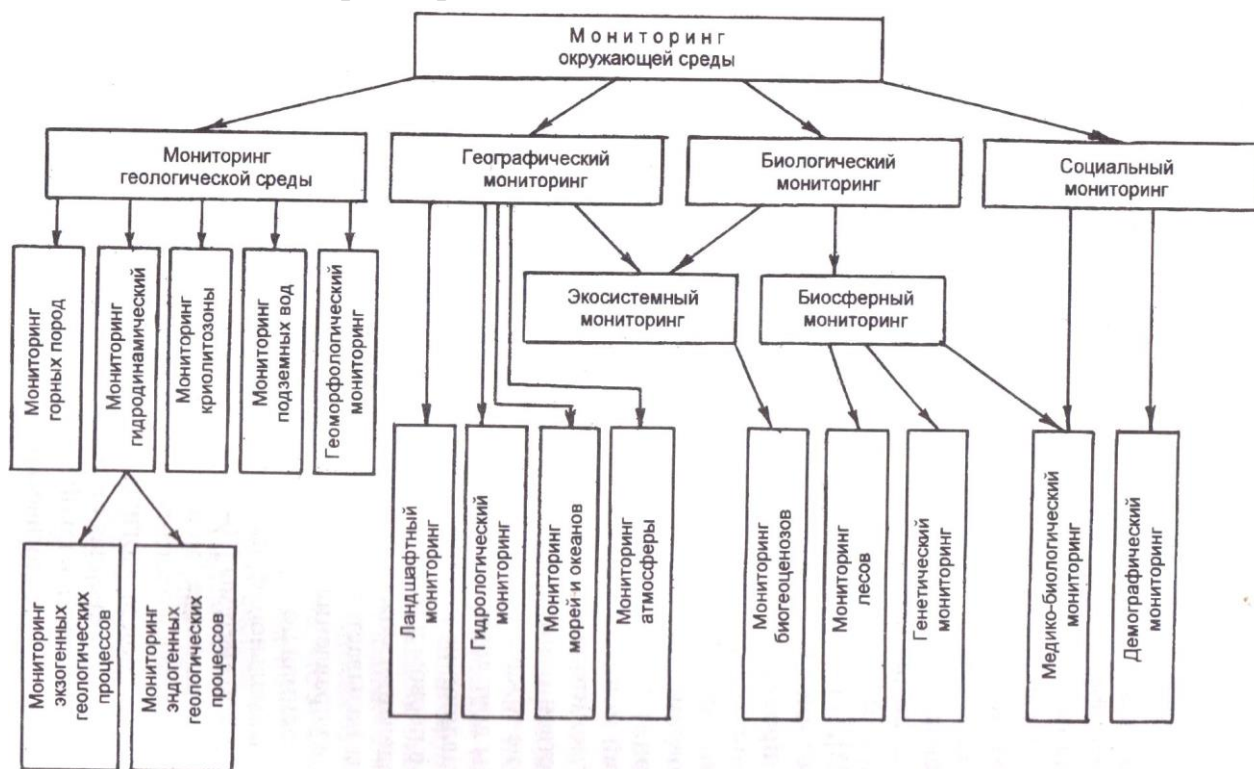


Рис. 2.9. Схема соотношения некоторых видов мониторинга [169]

В 80-е гг. был введен термин «литомониторинг», который в отличие от мониторинга окружающей среды характеризуется более узким понятием, рассматривающим в качестве объекта наблюдения только литосферу. Согласно В. К. Епишину и В. Т. Трофимову (1985), литомониторинг – это система, включающая блок контроля (режимные наблюдения) и блок управления (автоматизированная информационная система и система защитных мероприятий). В этом определении подчеркивается целевая направленность литомониторинга не только на фиксирование параметров, но и на управление. Существуют и другие определения термина «литомониторинг». По определению Г. К. Бондарика и Л. Я. Яр (1990), литомониторинг – система оценки состояния приповерхностной области литосферы, взаимодействующей с орудиями и продуктами труда, и прогноза ее функционирования; «это подсистема мониторинга среды обитания человека, включающей техносферу».

Одновременно с понятием «литомониторинг» появилось и понятие «мониторинг геологической среды», а также «инженерно-геологический мониторинг». В определении В. А. Королева (1995) «мониторингом геологической среды называется система постоянных наблюдений, оценки, прогноза и управления геологической средой или какой-либо ее частью, проводимая по заранее

намеченной программе в целях обеспечения оптимальных экологических условий для человека в пределах рассматриваемой природно-технической системы» [107].

В разработанных требованиях гидрогеоэкологической научно-производственной и проектной фирмой «ГИДЭК» к мониторингу месторождений твердых полезных ископаемых приводится следующее определение термина: мониторинг состояния недр (геологической среды) – система регулярных наблюдений, сбора, накопления, обработки и анализа информации, оценки состояния геологической среды и прогноза ее изменений под влиянием естественных природных факторов, пользования недрами и иной антропогенной деятельности [190].

Классификация видов мониторинга

Существует большое количество различных подходов к классифицированию мониторинга окружающей среды.

Классификация систем и подсистем: медико-биологический, биологический, климатический; и варианты: биоэкологический, геоэкологический, биосферный.

Классификация по наблюдениям за реакцией составляющей биосферы: биологический (биотический), геофизический (абиотический).

Классификации по факторам и объектам воздействия мониторинга различных сред: атмосферы – приземного слоя и верхней атмосферы, атмосферных осадков; гидросферы – поверхностных вод (воды рек, озер и водохранилищ), вод океанов и морей, подземных вод – литосферы, в том числе почвы. По объектам наблюдения различают атмосферный, воздушный, водный, почвенный, климатический мониторинг, мониторинг растительности, животного мира, здоровья населения и т.д. *Мониторинг факторов воздействия* – мониторинг различных химических загрязнителей (ингредиентный мониторинг) и разнообразных природных и физических факторов воздействия (электромагнитное излучение, солнечная радиация, шумовые вибрации). *Мониторинг источников загрязнений* – мониторинг точечных стационарных источников (заводские трубы), точечных подвижных (транспорт), пространственных (города, поля с внесенными химическими веществами) источников.

Классификация по методам наблюдения: геофизический (по отдельным видам), геохимический (по отдельным видам), биологический (по отдельным видам), спутниковый (дистанционный) и др.

Классификация по масштабам воздействия: пространственный и временной.

Классификация по характеру обобщения информации:

- глобальный – слежение за общемировыми процессами и явлениями в биосфере Земли, включая все ее экологические компоненты, и предупреждение о возникающих экстремальных ситуациях (мониторинг океана, мониторинг озоносферы и т.д.);
- базовый (фоновый) – слежение за общебиосферными, в основном природными, явлениями без наложения на них региональных антропогенных влияний;
- межнациональный мониторинг (например, мониторинг трансграничного переноса загрязняющих веществ);
- национальный – мониторинг в масштабе страны (например, общегосударственная служба наблюдения и контроля за уровнем загрязнения внешней среды);
- региональный – слежение за процессами и явлениями в пределах какого-то региона, где эти процессы и явления могут отличаться и по природному характеру, и по антропогенным воздействиям от базового фона, характерного для всей биосферы;
- локальный – мониторинг воздействия конкретного антропогенного источника;
- детальный – мониторинг воздействия конкретного антропогенного источника с детальной наблюдательной сетью;
- импактный – мониторинг региональных и локальных антропогенных воздействий в особо опасных зонах; а также фоновый и палеомониторинг.

2.3.2.2. Единая система государственного экологического мониторинга и государственный мониторинг геологической среды (состояния недр)

Единая государственная система экологического мониторинга (ЕГСЭМ)

– система наблюдения, оценки, прогноза состояния окружающей среды и информационного обеспечения процесса подготовки и принятия управленческих решений по охране природы, защите от опасных экологических факторов и экологической безопасности (рис. 2.10).



Рис. 2.10. Структура Единой системы государственного экологического мониторинга

Согласно Статье 63.1. Единая система государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды) (введена Федеральным законом от 21.11.2011 № 331-ФЗ), Единая система государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды) создана в целях обеспечения охраны окружающей среды.

Ее задачами являются:

- регулярные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, изменениями состояния окружающей среды;
- хранение, обработка (обобщение, систематизация) информации о состоянии окружающей среды;
- анализ полученной информации в целях своевременного выявления изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и (или) антропогенных факторов, оценка и прогноз этих изменений;
- обеспечение органов государственной власти, органов местного самоуправления, юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, граждан информацией о состоянии окружающей среды.

Законом Российской Федерации от 21.02.92 г. № 2395-1 «О недрах» (редакция от 08.06.2020 г.), Статья 36.2. Государственный мониторинг состояния недр (введена Федеральным законом от 21.11.2011 № 331-ФЗ) определено, что

Государственный мониторинг состояния недр является частью государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды); Государственный мониторинг состояния недр осуществляется федеральным органом управления государственным фондом недр в соответствии с законодательством Российской Федерации [179].

В соответствии с Положением о порядке осуществления государственного мониторинга состояния недр Российской Федерации № 433 от 21.05.2001 г., государственный мониторинг состояния недр (ГМСН) представляет собой систему регулярных наблюдений, сбора, накопления, обработки, обобщения и анализа информации для оценки состояния и использования недр, а также прогноза их изменений под влиянием естественных природных факторов, недропользования и других видов антропогенной деятельности.

В государственной системе мониторинга состояния недр выделяются следующие подсистемы:

– **Мониторинг подземных вод (подземных водных объектов).** Подсистема предназначена для оценки состояния подземных вод и прогноза изменения их состояния, в т.ч. эксплуатируемых месторождений подземных вод; учета эксплуатационных запасов подземных вод и их использования; ведения Государственного водного реестра (ГВР) по разделу «Подземные воды». Подсистема – также составная часть государственного мониторинга водных объектов. Выделяется *объектный* (охватывает территорию отдельной природно-технической системы, например эксплуатируемое месторождение подземных вод или участок водозабора и зоны влияния их эксплуатации), *территориальный* (охватывает территорию субъекта РФ) и *региональный* (охватывает территорию отдельных природных систем, например гидрогеологическая провинция, область, бассейны подземных вод, расположенных на территории нескольких субъектов РФ) уровни [131].

– **Мониторинг опасных экзогенных геологических процессов.** Подсистема предназначена для выявления, учета, оценки состояния и прогнозирования развития опасных экзогенных геологических процессов и функционально связана с единой государственной системой предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

– **Мониторинг опасных эндогенных геологических процессов.** Подсистема предназначена для оперативного контроля за изменением напряженно-деформированного состояния горных пород сейсмоактивных зон с целью про-

гноза сильных землетрясений. Подсистема – одновременно составная часть федеральной системы сейсмических наблюдений и прогноза землетрясений.

– **Мониторинг месторождений углеводородов.** Подсистема предназначена для оценки текущего состояния разрабатываемых месторождений нефти и газа и прогнозирования изменений их состояния, в т.ч. загрязнения недр нефтепродуктами, учета состояния участков недр по объектам недропользования, связанным с добычей углеводородов (УВ) [104].

– **Мониторинг месторождений твердых полезных ископаемых.** Подсистема предназначена для оценки текущего состояния разрабатываемых месторождений твердых полезных ископаемых и прогнозирования изменений их состояния, включая наблюдения за состоянием массива горных пород и деформациями земной поверхности согласно требованиям Ростехнадзора; учет состояния участков недр по объектам недропользования, связанным с добычей твердых полезных ископаемых.

– **Мониторинг участков недр, используемых для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых.** Оценка состояния недр и прогноз его изменения при строительстве и эксплуатации подземных сооружений, строительстве и эксплуатации нефте-газохранилищ в пластах горных пород, захоронении радиоактивных и других опасных отходов в глубоких подземных горизонтах, размещении в недрах промышленных и бытовых отходов.

– **Мониторинг участков недр, испытывающих воздействие хозяйственной деятельности, не связанной с недропользованием.** Оценка состояния недр и прогноз изменения этого состояния, включая загрязнение недр, активизацию экзогенных и эндогенных процессов, под воздействием объектов хозяйственной деятельности.

– **Мониторинг геологической среды континентального шельфа.** Оценка изменения состава и свойств донных отложений, состояния подземных вод и развития экзогенных геологических процессов в пределах шельфа, влияния разработки месторождений полезных ископаемых на шельфе на другие компоненты охраны природной среды (морские воды, биоту и др.).

Основным источником формирования и пополнения информационных ресурсов ГМСН являются данные о состоянии геологической среды, полученные при проведении регулярных наблюдений по *опорной государственной наблюдательной сети федерального и территориального уровней*. Для сбора информации используются различные методы наземных и дистанционных наблюдений.

Состав программных средств при мониторинге

При обработке пространственно распределенных данных используются различные методы (с применением ГИС ArcGIS, ArcView с модулем Spatial Analyst) – от самых простых (подсчет и определение положения объектов, построение статистических поверхностей различными методами интерполяции, сравнение данных одного покрытия с другими и т.д.) до сложных (создание картографических моделей изучаемых объектов). Большое значение придается развитию методов и методик компьютерной обработки материалов дистанционного зондирования. В настоящее время данные дистанционного зондирования (ДДЗ) все больше применяются при инженерно-геологических, геологических, экологических, гидрологических, гидрогеологических исследованиях, приходя на смену традиционным методам исследований и измерений. Внедрение методов исследований, использующих материалы ДДЗ, происходит в русле широкой интеграции с компьютерными технологиями обработки и анализа пространственных данных. Использование компьютерных технологий обработки материалов ДДЗ позволяет оперативно получать актуальную и корректную информацию, которую можно использовать при актуализации топографических карт (создании и корректировке сетей автодорог, железных дорог, гидрографии, построении цифровой модели рельефа (ЦМР) на основе данных стереосъемки и т.д.); геоэкологических исследованиях; количественной оценке динамики геологических и инженерно-геологических процессов; ландшафтных и геоботанических исследованиях; комплексном изучении и картографировании лесов, болот, почв и других компонентов природной среды; обнаружении и контроле чрезвычайных ситуаций природного и техногенного происхождения и др.

Информация, полученная при проведении геоэкологического мониторинга и ГМСН, является основой для геоэкологического и инженерно-геологического прогнозирования изменения состояния геологической среды.

2.3.3. Геоэкологическое моделирование

Содержание этого метода заключается в создании моделей состояния эколого-геологической системы той или иной территории и прогноза трансформации ее при реальных или возможных изменениях геологического компонента в процессе его взаимодействия с источниками воздействия как природными, так и техногенными. Конечная цель моделирования – прогнозная оценка

последствий этих воздействий на литосферу и через нее на биоту. Моделирование является методом исследования практически любого научного направления. Требования к созданию при его реализации корректных моделей являются, по существу, общими. В то же время использование моделей в экологической геологии позволяет рассматривать моделирование в качестве специального метода этой науки. В процессе эколого-геологического моделирования последовательно решаются, по М. Б. Куринову (1997), следующие группы задач: создание моделей состояния эколого-геологической ситуации (системы) той или иной территории; построение моделей прогноза изменения эколого-геологических условий при планируемых воздействиях; разработка и выбор модели оптимальной, устойчиво развивающейся эколого-геологической системы территории; корректировка постоянно действующей модели (ПДМ) устойчиво развивающейся эколого-геологической системы. Метод эколого-геологического моделирования является важным звеном эколого-геологического мониторинга и корректировки ПДМ. Эколого-геологическая модель действует в системе мониторинга постоянно, а не связана с решением разовой целевой задачи. Кроме того, следует учитывать, что ПДМ практически единственный и наиболее часто реализуемый способ совершенствования системы управления рационального природопользования. В практике эколого-геологического моделирования применяются различные типы моделей: вербальные, знаковые (картографические), физические (аналоговые) и математические, т.е. комплекс традиционных методов моделирования. Выбор конкретного метода обуславливается спецификой информационной базы, задачами исследования, а также возможностями их финансирования [173].

2.3.4. Геоэкологическое прогнозирование

2.3.4.1. Системообразующие критерии прогнозирования изменений геологической среды

Научно-методическими предпосылками для обоснования критериев прогнозирования геологической среды могут являться:

- состояние изученности проблемы, связанной с изменениями геологической среды под влиянием различных факторов (природных, природно-техногенных, техногенных);
- уровень научно-технического прогресса, технической подготовленности населения для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с

природно-техногенными процессами, опасными геологическими процессами и явлениями;

- организация мониторинговых исследований для получения объективной информации о состоянии геологической среды, возможности проявления опасных геологических процессов и явлений.

В настоящее время проблемами прогнозирования геологической среды занимаются многие отечественные и зарубежные исследователи и учёные. Выделяется несколько *системообразующих критериев* прогнозирования геологической среды:

- критерий повторяемости событий;
- критерий масштаба события;
- информационный критерий;
- критерий значимости события;
- критерий природы источника воздействия;
- социально-экономический критерий;
- критерий многофакторности;
- пространственно-временной критерий.

Критерий повторяемости событий отвечает за частоту возникновения опасного геологического процесса или явления на территории.

Частота возникновения опасного события или явления часто зависит от климатического фактора (осадки, температура, ветер, солнечная активность (число Вольфа) и др. (Кэролайн Х. Лир и др., 2020) [185].

Число Вольфа W для данного дня вычисляется по формуле:

$$W=k(f+10g),$$

где f – количество наблюдаемых пятен; g – количество наблюдаемых групп пятен; k – нормировочный коэффициент.

Нормировочные коэффициенты k выводятся для каждого наблюдателя и телескопа, что даёт возможность совместно использовать числа Вольфа, найденные разными наблюдателями. За международную систему приняты числа Вольфа, которые в 1849 г. начала публиковать Цюрихская обсерватория и для которых коэффициент k принят равным 1. В настоящее время сводка всех наблюдений солнечных пятен и определение среднемесячных и среднегодовых значений чисел Вольф производится в Центре анализа данных по влиянию Солнца (Бельгия).

Период повторяемости, интервал повторения – оценка интервала времени между такими событиями, как землетрясение, наводнение или изменение

расхода воды, сходной интенсивности или силы. Это статистическая величина, обозначающая средний интервал повторения в течение длительного периода времени. Как правило, её вычисление требуется для анализа риска (в том числе для оценки проектов в зонах с определенным риском), а также измерения сейсмостойкости сооружений в случае повторения землетрясений (с соответствующей интенсивностью).

Интервал повторения = n/m , где n – количество лет наблюдений; m – ранг, интенсивность рассматриваемого события. Для наводнений он обычно измеряется в м³/с, для штормовых приливов – с точки зрения высоты подъёма воды и т.д. для других событий. Теоретически период повторяемости есть обратная вероятность того, что событие наступит в течение года. Например, 10-летнее наводнение имеет показатель или 10 % вероятность наступления в течение года, а 50-летнее наводнение имеет 0,02 или 2 % вероятности наступления в течение года (<https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

Информационный критерий отвечает за полноту и доступность информации об опасном источнике геологического процесса или явления. Данный критерий основан на информационной безопасности, отвечающей за возможность принятия оперативных действий, связанных с эвакуацией и переселением людей из опасной зоны. Часто люди не обладают полнотой информации об опасных источниках. К тому же живущие в опасной зоне люди часто привыкают к такому соседству и не предпринимают необходимых защитных действий в случае возникновения опасного события или явления (психологический фактор).

Критерий значимости наступления опасного события отвечает за выделение из цепи всех возможных событий только тех, которые могут привести к особо опасным процессам или явлениям. Например, при возникновении целого ряда опасных факторов, влияющих на безопасность людей, всегда выделяются наиболее значимые и весомые факторы.

При проживании в опасной зоне, например рядом с крутым обрывом с проявлением ручейковой эрозии, основным опасным фактором является возможность проседания и смыва поверхности почвы, а второстепенными являются возможность подтопления или наводнения на участке поверхности.

Критерий природы источника воздействия отвечает за прямое или косвенное воздействие. Прямые взаимодействия обусловлены непосредственным изменением человеком структуры и свойств геологической среды. Косвенные взаимодействия обусловлены изменением человеком структуры и свойств других сред: атмосферы, поверхностной гидросферы, биосферы, которые взаимодействуют с геологической средой, вызывая в ней инженерно-геологические,

техноплагенные процессы. *Техноплагенными* (plaga – толчок, лат.) следует считать такие процессы, косвенной причиной которых является человек, но которые идут независимо от его воли, в ходе взаимодействий геологической среды с другими средами или в силу внутренних взаимодействий. В качестве примера техноплагенных инженерно-геологических процессов можно привести землетрясения, происходящие при создании водохранилищ, или процесс выветривания, обусловленный загрязнением атмосферы сернистыми соединениями.

Социально-экономический критерий отвечает за финансово-экономическую и социально-психологическую составляющую мероприятий по недопущению и локализации опасных последствий от возникновения геологических процессов и явлений. Часто опасные природные процессы и явления происходят совершенно неожиданно и не позволяют принять необходимые меры для смягчения их последствий. Современные финансово-экономические и социально-психологические составляющие позволяют обеспечить безопасность при проявлении таких опасных процессов. Однако психологическая составляющая людей не позволяет им вовремя подготовиться к таким мероприятиям.

Критерий многофакторности, отвечающий за возможность возникновения опасного природного процесса или явления в зависимости от арифметического количества различных факторов (чем больше факторов, тем более весомый вариант увеличения вероятности наступления опасного события). Например, для возможности проявления опасного события на прибрежном участке местности рядом со склоном гораздо выше, чем на равнинном участке. Ветер, осадки, приливная и отливная волны подтачивают береговую линию и провоцируют затопление и наводнение. Склон также способствует возникновению опасного явления, так как является источником массопереноса различных веществ природного и техногенного характера (сели, обвалы).

Пространственно-временной критерий, отвечающий за временной промежуток наивысшей вероятности наступления опасного события (например, в периоды усиления солнечной активности) и наиболее вероятного участка местности с максимальной вероятности события (например, зоны разлома земной коры или выхода радона – радиоактивного газа). Обычно даются разновременные прогнозы: краткосрочный, среднесрочный и долгосрочный [35].

Условные значения (баллы) системообразующих критериев прогнозирования геологической среды приведены в табл. 2.4–2.11.

Таблица 2.4

Критерий повторяемости событий

Вероятность возникновения в год, %	Статус события	Балл
10–20	незначительный	1
21–40	малозначительный	2
41–60	среднезначительный	3
61–80	очень значительный	4
более 80	чрезвычайный	5

Таблица 2.5

Информационный критерий

Полнота и доступность информации о процессе или явлении, %	статус события	балл
менее 10	чрезвычайный	5
11–25	очень значительный	4
26–40	среднезначительный	3
41–60	малозначительный	2
более 60	незначительный	1

Таблица 2.6

Критерий значимости наступления опасного события

Возможность выделения из цепи всех процессов и явлений тех, которые могут привести к опасным последствиям, %	Статус события	Балл
менее 30	чрезвычайный	5
31–50	очень значительный	4
51–70	среднезначительный	3
71–99	малозначительный	2
100	незначительный	1

Таблица 2.7

Критерий природы воздействия

Соотношение прямых и косвенных признаков, %	Статус события	Балл
10/90	чрезвычайный	5
30/70	очень значительный	4
50/50	среднезначительный	3
70/30	малозначительный	2
90/10	незначительный	1

Таблица 2.8

Социально-экономический критерий

Величина социально-экономической мобилизации населения и экономики для предотвращения опасного события, %	Статус события	Балл
более 80	незначительный	1
60–79	малозначительный	2
40–59	среднезначительный	3
10–29	очень значительный	4
менее 10	чрезвычайный	5

Таблица 2.9

Критерий многофакторности

Величина многофакторности, ед., %	Статус события	Балл
более 20	чрезвычайный	5
13–19	очень значительный	4
9–12	среднезначительный	3
6–8	малозначительный	2
менее 5	незначительный	1

Таблица 2.10

Пространственно-временной критерий

Вероятность локализации опасного события во временном и пространственном отрезке, %	Статус события	Балл
более 80	чрезвычайный	5
60–79	очень значительный	4
40–59	среднезначительный	3
10–29	малозначительный	2
менее 10	незначительный	1

Таблица 2.11

Суммарная оценка прогнозных критериев

Прогноз опасного геологического процесса или явления, %	Статус события или явления	Сумма баллов
более 80	чрезвычайный	более 30
60–80	очень значительный	от 25 до 29
40–60	средне значительный	от 19 до 24
20–40	малозначительный	от 11 до 18
менее 20	не значительный	менее 10

Данные критерии прогнозирования геологической среды требуют дальнейшей научно-методической проработки на предмет ранжирования вероятности наступления опасного геологического события или явления. Критериальная оценка прогнозирования геологической среды требует дальнейшего уточнения и научно-методологического обоснования.

Ее возможное практическое применение:

- федеральной службой по надзору в сфере природопользования и её территориальными органами и подведомственными организациями при осуществлении федерального государственного экологического надзора;

- федеральными органами государственной власти, которые вправе осуществлять согласование проектной документации на выполнение работ, связанных с использованием участками недр, по видам полезных ископаемых и видам пользования недрами (члены комиссии, создаваемой Федеральным агентством по недропользованию или его соответствующим территориальным органом);

- юридическими и физическими лицами, осуществляющими разработку проектной документации на выполнение работ, связанных с использованием участками недр, по видам полезных ископаемых и видам пользования недрами.

2.3.4.2. Основы геоэкологического и эколого-геологического прогнозирования: понятия, структура, принципы

Прогнозирование изменений природной окружающей среды, которые происходят под влиянием как собственно природных, так и природно-техногенных и техногенных (антропогенных) факторов и осуществляются при геоэкологическом (эколого-геологическом и эколого-географическом), а также при инженерно-геологическом прогнозировании. Соответственно, поэтому **прогнозирование изменений геологической среды** как части природной среды осуществляется при **эколого-геологическом и инженерно-геологическом прогнозировании**.

Существуют различные определения «геоэкологического прогнозирования», которое многие отечественные и зарубежные ученые определяют как понятие о разработке представлений о природных комплексах будущего и их переменных состояниях, в том числе обусловленных антропогенной деятельностью, или о совокупности действий, которые позволяют рассуждать о состоянии природных систем.

По А. Г. Емельянову (1986, 1989), **геоэкологическое прогнозирование** – это система исследований для выявления направлений, степени, скорости и

пространственных масштабов будущих изменений природных систем (комплексов) с целью разработки мероприятий по оптимизации природной среды [29].

Главной задачей геоэкологического (эколого-геологического) прогнозирования является оценка возможной реакции окружающей среды (в т.ч. геологической) на непосредственное или косвенное влияние человека и предупреждение неблагоприятных процессов, вызванных воздействиями различных видов природопользования (недропользования). Объект геоэкологического прогнозирования – геосистемы, природные или природно-технические системы (ПТС); предмет – их будущие изменения, а также изменения факторов и источников внешнего воздействия. Основой такого прогнозирования определяют цепь: воздействие – изменение – следствие.

Принципиальная схема геоэкологического прогнозирования состоит из трех блоков, объединенных целевым назначением: природно-геологического (структура и природный потенциал ландшафта и других компонентов геологической среды), социально-экономического (антропогенное воздействие и нагрузки) и блока экологических проблем и ситуаций.

Природно-геологический (природно-ландшафтный, структурно-тектонический, геодинамический, литологический, гидрогеологический) блок прогнозирования основывается на структурно-динамической концепции геосистем, сущность которой заключается в переходе структуры природных систем из одной в другую в результате внутреннего саморазвития и под влиянием природных и антропогенных факторов. Динамические тенденции антропогенно преобразованных геосистем предусматривают закономерную смену состояний во времени. Во время усиления антропогенной нагрузки геосистема проходит через ряд состояний, постепенно удаляясь от исходного состояния; при уменьшении нагрузки также проходит через ряд состояний, но уже приближается к коренному. При значительном превышении антропогенных нагрузок (например, разработка месторождений полезных ископаемых, горные выработки, создание водохранилищ, мелиоративные и др. мероприятия) геосистема полностью деградирует, разрушается и переходит в новое качественное состояние.

Сущность **социально-экономического блока** геоэкологического прогнозирования заключается в анализе текущих и программных задач социально-экономического развития территории. При этом виды и степень антропогенной нагрузки могут быть нормативно установленными или не предусмотренными. Антропогенную нагрузку на ландшафт и другие компоненты геологической среды оценивают по видам и мощности воздействия техногенных факторов, видам использования земель, характеру заселения территории. Экологическое

оценивание предполагает определение различных видов антропогенных воздействий, в том числе в зонах влияния, то есть за пределами ареала их непосредственного действия (например, трансграничное загрязнение геологической среды).

Блок экологических проблем и ситуаций включает прогноз социально-экономических последствий изменений среды. При этом учитываются состояние здоровья населения, ухудшение эффективности хозяйствования, экономические убытки, расходы на предотвращение неблагоприятных изменений и их ликвидацию, расходы на предотвращение потери или истощения природных ресурсов, а также расходы на миграцию населения и т.д.).

Общее прогнозирование экологической ситуации основывается на анализе и синтезе прогнозов всех указанных выше блоков. При этом методы прогнозирования делятся на три основные группы: экстраполяция, моделирование и экспертиза. Каждая из этих групп методов имеет существенные ограничения. Все системы прогностических модулей должны включать: процедуру анализа объекта прогнозирования; метод анализа статистической отчетности; процедуру классификации событий; процедуру анализа иерархии объекта; процедуру формулировки критериев; метод построения дерева целей и задач; метод аналогии; метод картографирования; метод морфологического анализа, построения матриц, определение корреляционных и статистических зависимостей; метод балльной оценки; метод экспертных оценок.

Последовательность применения методов и их выбор в каждом конкретном случае могут меняться, но основные этапы прогнозирования должны храниться. Сложность структуры объекта прогнозирования, высокая степень неопределенности его динамики, развития и функционирования являются теми факторами, с помощью которых определяется выбор экспертных методов, поскольку именно утверждение эксперта позволяет установить более или менее четкую картину будущего.

Главными методами прогнозирования являются: моделирование, метод аналогов, экспертиза, экстраполяция и др. *Метод аналогов* основывается на том, что закономерности развития одного процесса с определенными поправками можно перенести на другой процесс, для которого требуется составить прогноз. *Метод экстраполяции* – это перенос установленного характера развития определенной территории или процесса на будущее. Например, если известно, что при создании водохранилища при неглубоком залегании грунтовых вод началось подтопление и заболачивание, тогда можно предположить, что здесь и далее продолжатся подобные процессы.

Прогнозные методы направлены в основном на выявление пространственно-временных воздействий этих объектов на природную среду. При разработке прогноза будущего использования территории учитываются следующие виды ограничений:

- соблюдение необходимой пропорциональности в процессе разделения территориальных ресурсов для производственных и социальных целей;
- учет действующих нормативов и других законодательно закреплённых ограничений;
- потребность максимально допустимого с экологической точки зрения интенсивного функционального использования территорий.

Учитывая такие ограничения в процессе геоэкологического прогнозирования, выделяют территории альтернативного и регламентированного использования. Территории альтернативного использования – территории, природные и антропогенные особенности которых не создают нормативных препятствий для любых видов деятельности, то есть обеспечивают многовариантность их использования. Территории регламентированного использования подразделяются на два вида:

- участки монофункционального использования, профиль и интенсивность которых определяются потенциалом этих территорий (например, площади залегания полезных ископаемых, территории мелиоративного фонда, природно-заповедный и природно-рекреационный фонды и т.п.);
- зоны ограничений вокруг объектов, требующих специального режима использования земель (санитарно-защитные зоны промышленных предприятий, охранные зоны заповедников и др.). В рамках таких территорий набор и интенсивность функций должны определяться нормативно.

Во время проведения геоэкологического прогнозирования с целью функционального распределения территориальных ресурсов их оценивают по комплексу природных и антропогенных факторов, влияющих на вид и очередность использования земель (инженерно-строительные условия, наличие водных и трудовых ресурсов и т.п.). При этом применяются методы балльной и стоимостной оценки.

Сущность метода *балльной оценки* заключается в определении степени благоприятности отдельных участков территории для различных видов хозяйственного использования в условных величинах – баллах. Сначала осуществляется балльная оценка каждого фактора, а затем баллы суммируются.

Метод *стоимостной оценки* предполагает выявление сравнительного удорожания использования отдельных участков территории для различных ви-

дов деятельности. Удорожание рассчитывается сначала по каждому фактору, а затем результаты также суммируются.

В процессе прогнозных исследований должна предоставляться информация о сроках необратимого истощения природных ресурсов и дигрессии среды, возможные изменения их функций по размещению объектов. Для геоэкологического прогнозирования нужно определить не только влияние объекта на природу, но и нарушенные функции среды. Путем оценки и прогнозирования или подтверждаются необходимость, возможность и целесообразность размещения на определенной территории объектов, или опровергается проект их расположения.

Учитывая свойства природных геосистем как объекта прогнозных исследований, можно сформулировать следующие **принципы геоэкологического прогнозирования**:

- комплексность прогноза, то есть потребность предсказания изменений ряда компонентов геологической среды или всего комплекса природной среды в целом;
- динамический подход к прогнозируемому объекту;
- пространственно-временное единство прогноза, отражающее одновременность изменений геосистем во времени и пространстве;
- учет природной дифференциации среды (путем геоэкологического районирования и картографирования по отдельным компонентам геологической среды);
- качественно-количественный характер прогноза, который отражает соответствующий уровень описания природных геосистем.

По объему территории различают *глобальные, региональные и локальные* прогнозы.

По продолжительности различают *краткосрочные* прогнозы (до одного года), *среднесрочные* (1–5 лет), *долгосрочные* (5–15–20 лет), *далеко срочные* – *на перспективу* (более 20 лет). При этом по срокам прогноза учитывается не только время активного функционирования будущих видов природопользования (от нескольких лет до десятилетий), но и с возможные побочные воздействия, которые могут проявиться через десятки, а в отдельных случаях через сотни лет. Практический интерес представляет краткосрочный оперативный прогноз, а также средне- и долгосрочные геоэкологические прогнозы, которые имеют локальный и региональный характер.

2.3.4.3. Инженерно-геологический прогноз изменения геологической среды

Инженерно-геологический прогноз Г. К. Бондарик и Л. А. Ярг (2011) определяют как предсказание структуры и свойств геологической среды – компонентов инженерно-геологических условий в пространстве-времени. Для удовлетворения практических потребностей в большинстве случаев достаточно знания структуры и свойств литосистемы (в том числе и природно-технической) в некоторый момент (или моменты) будущего времени. Разработка теоретической стороны инженерно-геологического прогнозирования, из которой вытекает прогноз, даваемый на детерминированной основе, требует исследования динамики литосистемы, познания процессов ее взаимодействия с внешними средами и внутренних взаимодействий между ее элементами. С точки зрения *системного подхода*, инженерно-геологическим прогнозом следует считать предсказание структуры и свойств – компонентов инженерно-геологических условий природной или природно-технической системы в пространстве-времени [6, 7].

Инженерно-геологическое прогнозирование – последовательность операций с инженерно-геологической информацией, выполняемых с целью получения прогноза. В зависимости от выбранного метода прогнозирования состав операций, естественно, изменяется, однако в любом случае прогнозирование включает:

- формулирование цели прогноза;
- выработку требований к его точности и надежности, обоснование заблаговременности;
- обоснование выбора модели;
- в случае, если признано целесообразным изучать процесс движения литосистемы, в том числе и природно-технической системы (ПТС), на некоторой физической модели – моделирование этого процесса с целью получения исходной информации для прогноза;
- анализ, отбраковку и первичную обработку исходной информации;
- математические операции с отобранной информацией, включая математическое моделирование процесса функционирования литосистемы (или ПТС), конечным результатом которых является инженерно-геологический прогноз.

Инженерно-геологический прогноз в общем случае должен содержать ответы на вопросы: где происходит изменение инженерно-геологических условий, с какой скоростью и в каком направлении они изменяются, когда их изменение достигает критического уровня. Нередко, в зависимости от задач прогно-

зирования, можно ограничиться ответом только на два или даже на один из поставленных вопросов. Например, при прогнозе экзогенных геологических процессов обычно известно, где они локализованы, поэтому достаточно указать их скорость, интенсивность распространения в пространстве (масштаб) и время наступления критического уровня [7].

Г. К. Бондарик и Л. А. Ярг (2011) отмечают, что все элементы геологической среды и ее свойства связаны между собой. Состав, строение, тектонические условия и трещиноватость горных пород обуславливают их свойства, геоморфологический облик литосистемы и в целом экзогенные геологические процессы. Геологическое тело, выделенное по инженерно-геологическим критериям, является открытой системой, и смена ее состояний обусловлена внешними распределенными и сосредоточенными взаимодействиями.

Существенно влияет на природную (в том числе на геологическую) среду человек. Под влиянием человеческой деятельности геологическая среда изменяется непосредственно или косвенно. Примерами непосредственного взаимодействия с геологической средой являются проведение горных работ, строительство сооружений, осушение и обводнение территорий, распашка почвы, сведение лесов, строительство водохранилищ и другие подобные мероприятия.

На территории Российской Федерации осуществляется ежегодный региональный прогноз развития экзогенных геологических процессов (ЭГП) по территории РФ, который представляет собой регламентную продукцию Государственного мониторинга состояния недр (ГМСН), подготовленную в Центре ГМСН и региональных работ (ФГБУ «Гидроспецгеология») [142].

Основная цель подготовки прогноза – обеспечение органов государственного управления, ведомств и организаций данными о прогнозной активности ЭГП на территории РФ. С учетом прогноза могут быть предусмотрены соответствующие организационно-технические мероприятия, позволяющие предотвратить экологические проблемы и материальный ущерб.

Прогноз включает в себя рассмотрение ожидаемой активности ЭГП на территории РФ в прогнозируемом году. Прогнозные оценки привязаны к территориям субъектов РФ.

Прогноз разрабатывается с использованием специально подготовленных прогнозных оценок ожидаемых значений элементов метеоклиматических факторов в соответствующем году, данных об инженерно-геологических условиях, материалов о распространении, активности и масштабах проявлений ЭГП на территории РФ, полученных территориальными и региональными центрами ГМСН при ведении мониторинга ЭГП на территории РФ.

В составе работ по ведению ГМСН осуществляется краткосрочное региональное прогнозирование следующих типов ЭГП и их комплексов: *оползневого, обвально-осыпных, карстово-суффозионных, гравитационно-эрозионных, гравитационно-абразионных, криогенных, подтопления.*

В настоящее время в составе ГМСН прогнозирование экзогенных геологических процессов осуществляется в основном методом экспертной оценки прогнозной степени активности ЭГП.

При прогнозировании используются следующие градации прогнозной степени активности ЭГП [38]:

- *активность очень высокая*, выражающаяся в массовой активизации проявлений ЭГП (более 50 % от общего числа) и образовании многочисленных новых проявлений ЭГП;

- *активность высокая*, выражающаяся в активизации проявлений ЭГП (25–50 % от общего числа) и образовании некоторого количества новых проявлений ЭГП;

- *активность средняя*, выражающаяся в активном развитии некоторого числа проявлений ЭГП (10–25 % от общего числа) и образовании отдельных новых проявлений ЭГП;

- *активность низкая* (активное развитие ожидается для менее 10 % ранее зафиксированных проявлений ЭГП).

Детальность и проработка экспертных прогнозных оценок по отдельным территориям не равнозначна. Это обусловлено рядом причин: степенью развитости наблюдательной сети мониторинга, длительностью и детальностью наблюдений, опытом специалистов – составителей прогнозов.

Следует отметить, что экспертный метод часто дает более надежные результаты (при прогнозировании таких многофакторных систем, какими являются ЭГП), чем детерминированные методы. Его преимуществом является связь с конкретными изучаемыми объектами, экспрессный характер и возможность использования в полном объеме опыта и интуиции специалистов.

Для выполнения пространственного анализа используется модуль ArcGIS 10.0 Spatial Analyst. Методом «обратно взвешенного расстояния» получается поверхность распределения прогнозируемых осадков и температур по всей территории РФ. Далее для каждого месяца с учетом весовых коэффициентов суммируются метеорологические факторы. Полученные для каждого месяца количественные значения усредняются для отдельных сезонов года (зима, весна, лето, осень) и разбиваются на качественные классы, соответствующие степеням

прогнозируемой активности ЭГП: «очень высокая», «высокая», «средняя» и «низкая».

Результаты пространственного анализа представляются на прогнозных картах. Технология составления прогнозных оценок ЭГП подробно изложена в отраслевом документе «Прогноз развития экзогенных геологических процессов по территории Российской Федерации на 2021 г. / Министерство природных ресурсов и экологии РФ, Федеральное агентство по недропользованию, ФГБУ «Гидроспецгеология», Центр ГМСН и региональных работ» [134]. Данная методика м.б. применена для краткосрочного прогноза ЭГП также и на локальных территориях.

Ниже приведены региональные прогнозы оползневого процесса и овражной эрозии, подготовленные в Центре ГМСН и региональных работ на основе картографического моделирования. Прогнозы составлены по сезонам 2021 г. и отражены на прогнозных картах (рис. 2.11, 2.12), подробно охарактеризованы в работе [142].

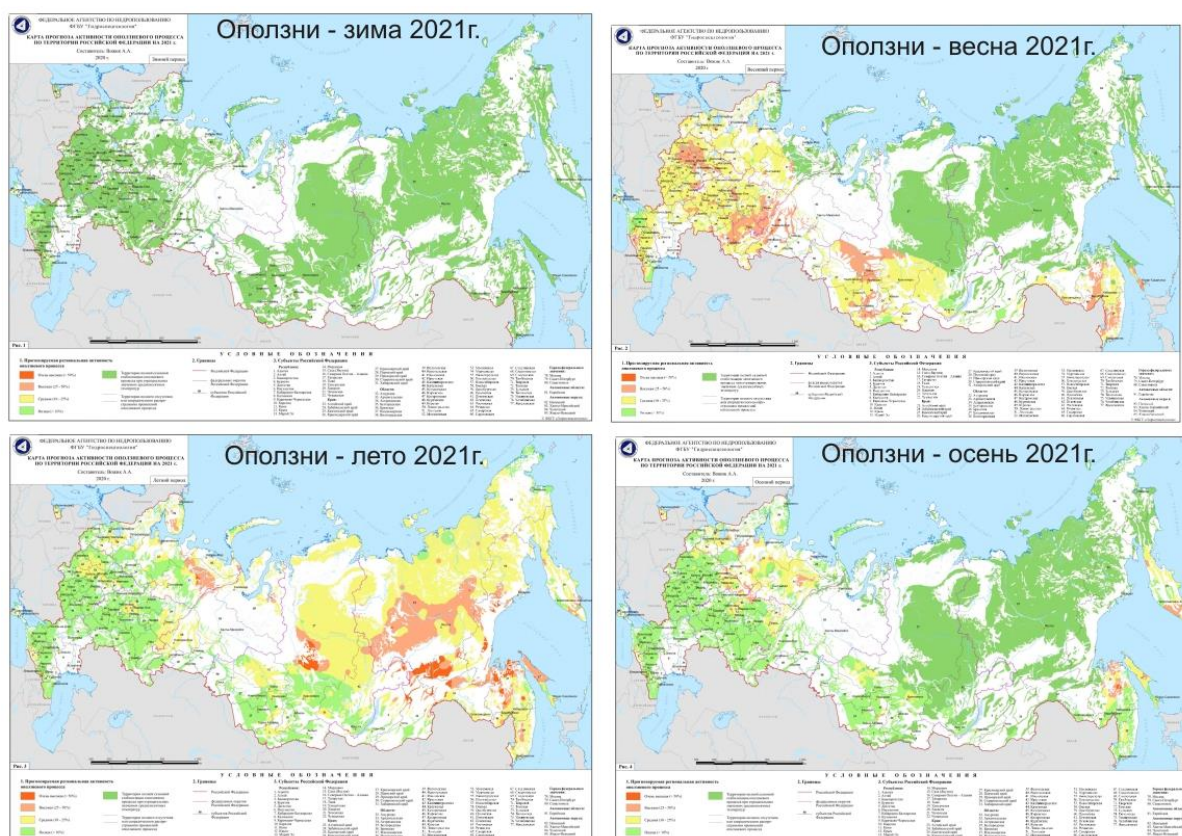


Рис. 2.11. Карты прогноза активности оползневого процесса по территории Российской Федерации на 2021 г.

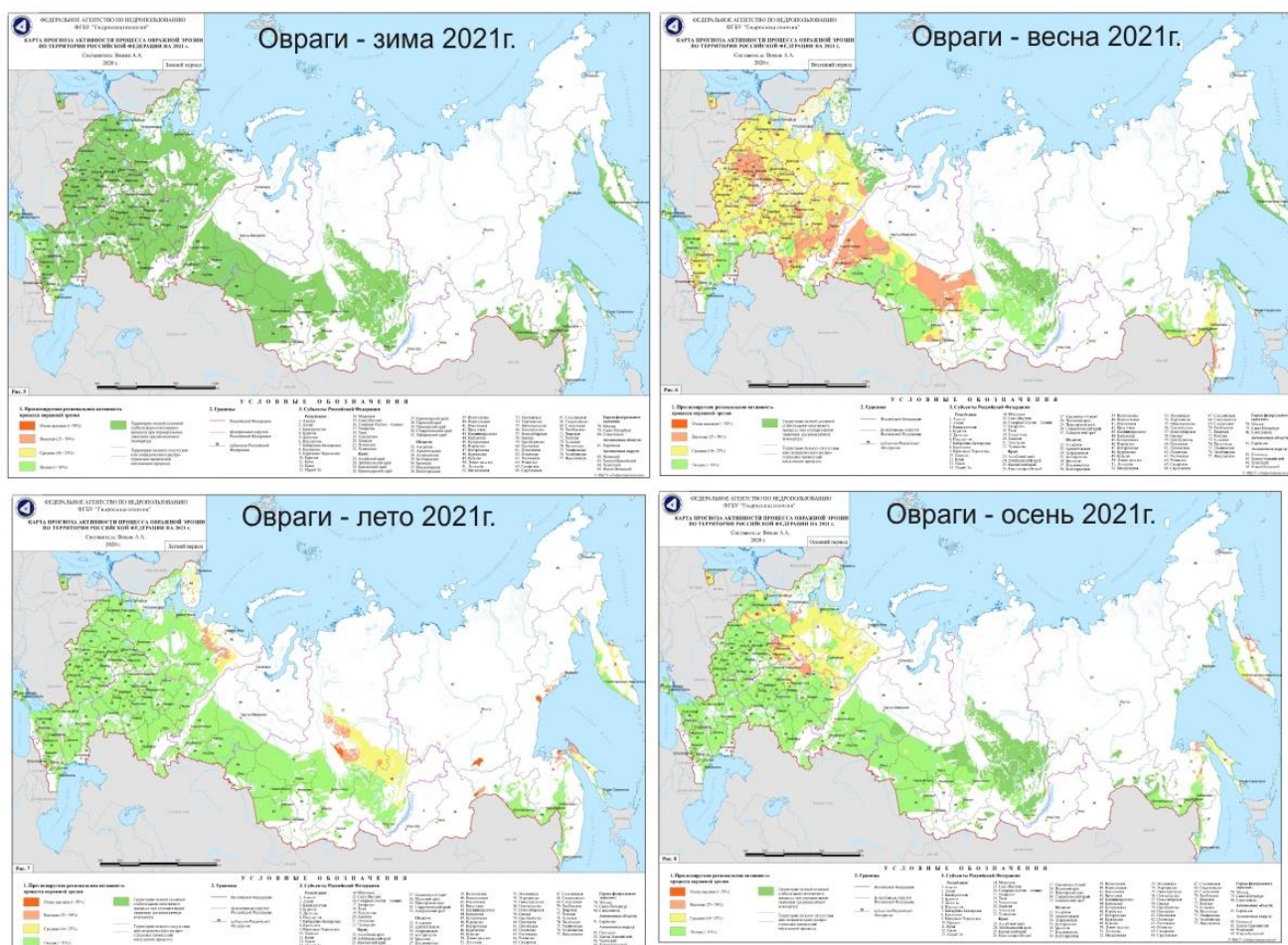


Рис. 2.12. Карты прогноза активности процесса овражной эрозии по территории Российской Федерации на 2021 г. [142]

2.4. Общая структура геоэкологических исследований

Изучение эколого-геологических систем требует решения большого числа теоретических и практических вопросов. Для этого используются методы различных наук, которые в методическом плане применяются в определенной последовательности в соответствии с общей структурой, разработанной В. Т. Трофимовым и Д. Г. Зилингом [169] для эколого-геологических исследований, которая соответствует и для геоэкологических исследований в целом (рис. 2.13).

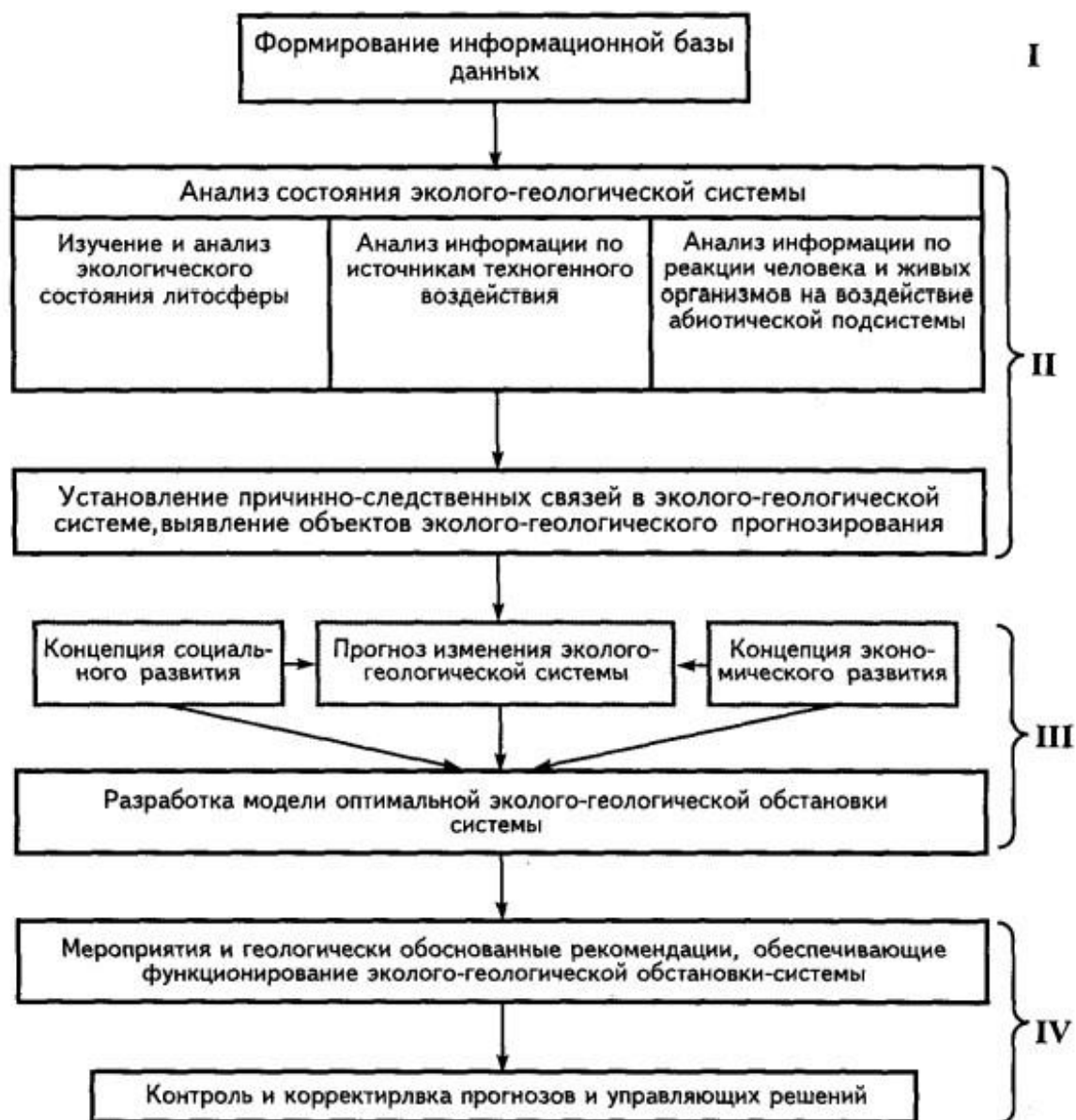


Рис. 2.13. Общая структура эколого-геологических исследований [169]

В общей структуре эколого-геологических исследований выделяется четыре основных блока:

информационный (I), целью которого следует признать формирование оптимальной в качественном и количественном отношении информационной базы дальнейших исследований;

аналитический (II), в рамках которого выполняется функциональный анализ эколого-геологической системы, осуществляются анализ и оценка особенностей компонентов литосферы, информации по смежным внешним природным сферам (атмосфера, почвы, поверхностная гидросфера), информации по техническим объектам воздействия и данных о реакции живых организмов и человека на это воздействие. Анализуются прямые и обратные связи меж-

ду литосферными, техническими и биотическими компонентами исследуемой системы, выявление тенденций в их взаимоотношениях и связанные с этим экологические последствия;

прогнозный (III), в рамках которого разрабатывается прогноз изменения эколого-геологических условий (обстановок) при тех или иных концепциях социально-экономического развития, необходимый для геологического обоснования управляющих решений по снижению отрицательных последствий техногенного прессинга на литосферу и биоту и разработки оптимальной эколого-геологической обстановки-системы;

контрольно-управленческий (IV), в рамках которого разрабатывается геологическое обоснование обеспечения оптимального функционирования экосистем, осуществляется контроль за исполнением (реализацией) принятых управляющих решений, за работой защитных сооружений и мероприятий, корректировка управляющих решений на основе проверки и уточнения прогнозных оценок.

Эта структура эколого-геологических исследований предусматривает и вполне определенную этапность выполнения работ.

На первом этапе формируется база данных о вещественном составе компонентов литосферы и развитых в ней геофизических полях, что требует знаний о геологическом, геоморфологическом строении исследуемого блока литосферы, его гидрогеологических, геокриологических, геохимических и геофизических условиях и степени их нарушенности, т.е. современного их состояния. Это собственно геологические исследования. Одновременно собирается информация *об источниках техногенного воздействия*, их специфике, количествах выбросов в окружающую среду или складировании и захоронении отходов производства и действующих технологиях. Собранный материал должен обеспечить оценку площадного загрязнения и его динамику в количественных характеристиках. Параллельно с названными исследованиями осуществляется сбор информации *по биохимической ситуации, медико-статистической* и биосубстратной характеристикам территории, гипер- и гипозлементозным заболеваниям, состоянию флоры, фауны, т.е. всех характеристик, отражающих степень нарушенности экосистемы.

На втором этапе исследований проводится функциональный анализ системы, включая функциональное зонирование территории, и устанавливаются причинно-следственные связи в рассматриваемой системе «литосфера-техногенные объекты-биота» либо «литотехническая система-биота», влияю-

щие на изменение эколого-геологических условий (обстановок). На этом же этапе устанавливаются существующие конфликтные ситуации, определяются приоритеты охраны и рационального использования природной среды.

На третьем этапе осуществляется прогноз изменения эколого-геологических условий в результате взаимодействия природных и техногенных факторов. Следовательно, необходима информация о динамике изменения компонентов литосферы под влиянием этих факторов (*данные мониторинга, или режимных наблюдений*, позволяющие выявить тенденцию этих изменений), а также сведения о социальной и экономической политике в развитии (на временной интервал прогноза) исследуемой территории. На этом этапе работы необходимо обращение в плановые и директивные органы для получения необходимой социально-экономической информации, без которой нельзя создать пространственно-временной прогноз. Именно на его основе создается модель оптимальной эколого-геологической обстановки-системы.

На четвертом этапе выполняется геологическое обоснование экологически ориентированных управляющих и природоохранных решений, осуществляется контроль за их выполнением, а в случае необходимости проводится корректировка прогнозов и управляющих решений [169].

3. ОСНОВНЫЕ ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СПЕЦИФИКУ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

3.1. Основные принципы определения эколого-геологических условий (обстановки)

Под эколого-геологическими условиями следует понимать обстановку, создаваемую комплексом современных морфологически выраженных геологических факторов, оказывающих влияние на особенности функционирования биоты, включая человека, в рамках эколого-геологической системы. Среди многообразия геологических особенностей В. Т. Трофимов (2010) [166] выделяет комплекс определяющих, самых важных, которые в той или иной степени изучаются всегда. Этот комплекс включает восемь составляющих, которые называются **факторами (компонентами) эколого-геологических условий**:

- 1) геологическое строение местности и характер слагающих ее пород;
- 2) рельеф;
- 3) гидрогеологические условия;
- 4) мерзлотные условия;
- 5) геохимические условия;
- 6) геофизические условия;
- 7) ландшафтные особенности;
- 8) современные геологические процессы.

Закономерное сочетание этих компонентов формирует эколого-геологический облик любого природного или техногенно измененного массива, региона, определяет его эколого-геологические условия (табл. 3.1).

Таблица 3.1

**Факторы эколого-геологических условий
и факторы формирования эколого-геологических условий**

Факторы (компоненты) эколого-геологических условий		Факторы формирования эколого-геологических условий		
Региональные геологические	1. Мега- и мезорельеф 2. Состав, строение и свойства пород, условия их залегания и распространения 3. Условия залегания и химический состав подземных вод глубоких горизонтов 4. Геохимические поля, их неоднородность 5. Геофизические поля, их неоднородность 6. Характер эндогенных и экзогенных геологических процессов	Региональные геологические	1. Совокупность геологических процессов, реализованных в ходе истории геологического развития территории 2. Современное тектоническое развитие территории	Антропогенные (техногенные)

Факторы (компоненты) эколого-геологических условий		Факторы формирования эколого-геологических условий		
Зональные геологические	1. Современное состояние пород, их состав и свойства	Зональные	1. Теплообеспеченность территории	
	2. Глубина залегания и химический состав грунтовых вод		2. Увлажненность территории	
	3. Характер и интенсивность экзогенных геологических процессов		3. Соотношение теплообеспеченности и увлажненности территории	
	4. Ландшафтные особенности		4. Ландшафтные особенности	

О факторах формирования эколого-геологических условий В. Т. Трофимов (2010) отмечает, что в содержательном плане необходимо строго различать **факторы (компоненты)** эколого-геологических условий и **факторы формирования** эколого-геологических условий. Под первыми подразумевают современные, морфологически выраженные геологические особенности территорий, изучаемые в связи с оценкой их влияния на живое, причем именно современные и именно морфологически выраженные. Вторые – факторы формирования эколого-геологических условий. Это эндогенно и экзогенно (включая техногенно) обусловленные особенности развития территории, которые являются **причиной**, создавшей наблюдаемые в настоящее время сочетания эколого-геологических факторов – параметров, эколого-геологических условий в целом. Из этого следует, что между факторами эколого-геологических условий и факторами их формирования существует причинно-следственная связь: вторые являются причиной, а первые – следствием действия вторых.

Факторы формирования эколого-геологических условий подразделяют на три группы (табл. 3.1). К первой относятся **региональные геологические факторы**, преимущественно **эндогенные** по природе. Вторую группу составляют **экзогенные** по природе **зональные факторы**, которые иногда называют зональными географическими, что в данном случае правомерно. Последняя, третья, группа включает **антропогенные (техногенные)** факторы.

Первая и вторая группа факторов действовали на всех этапах формирования эколого-геологических условий и определяющих их экологических свойств и функций литосферы: и на сугубо природном, охватывающем огромный по протяженности временной интервал от зарождения жизни (около 3,5 млрд л.н.) и до начала проявления техногенеза современной человеческой цивилизацией, и на техногенно-природном – более коротком по времени (с длительностью в последние 200 лет). Главные особенности последнего, как следует из его названия, это появление и проявление принципиально новых факторов – антропо-

генных (техногенных), которые, действуя совместно с природными региональными и зональными факторами, во многом обуславливают трансформацию ранее сформировавшихся морфологических особенностей всех видов экологических свойств и функций литосферы, эколого-геологических условий в целом. И она существенным образом сказывается на условиях существования биоты, функционировании экосистем.

Природные геологические условия и на втором этапе являются решающими в развитии литосферы в общепланетарном, да и в региональном (в подавляющем большинстве случаев) плане. Техногенные процессы, несмотря на широкое распространение, по масштабам, энергетике и экологическим последствиям уступают природным геологическим процессам, адаптироваться ко многим из которых биота часто просто не способна (извержения вулканов, землетрясения, сели, оползни и др.).

Роль антропогенного (техногенного) воздействия в трансформации эколого-геологических условий

Антропогенное (техногенное) воздействие является одним из ведущих факторов формирования и трансформации эколого-геологических условий на современном – техногенно-природном – этапе их развития. Действуя совместно с природными факторами, антропогенное (техногенное) воздействие обуславливает главным образом *локальную, местами регионально выраженную трансформацию* экологических функций литосферы и эколого-геологических условий. Очень часто под влиянием таких воздействий происходят негативные изменения их качества. На урбанизированных территориях, в промышленных и горнодобывающих районах, в зонах интенсивного земледелия именно эти воздействия стали во многом определять комфортность существования, а часто и медико-санитарные условия жизни человека. По сути, такое качество эколого-геологические условия приобрели только в эпоху техногенеза, когда стали формироваться техногенные геохимические и геофизические аномалии. По площади распространения и глубине воздействия на биоту, включая человека, они значительно опаснее многих природных аномалий.

Однако антропогенное воздействие, осуществляемое целенаправленно, приводит к положительной трансформации эколого-геологических условий. В соответствии с этим сформулируем такую позицию: современный техногенно-природный этап развития экологических свойств и функций литосферы и эколого-геологических условий в целом (как в теоретическом, так и в практическом аспекте) может быть антропогенно регулируемым путем принятия согласованных управляющих решений и нормативно-правового законодательства. Это его принципиальное отличие от первого, сугубо природного по генезису,

этапа развития экологических функций литосферы и образуемых ими эколого-геологических условий.

Общие закономерности трансформации экологических функций литосферы и обусловленных ими эколого-геологических условий на современном этапе развития сформулированы в виде следующих положений:

а) их трансформация, или изменение в пространстве и времени, является закономерным процессом, одним из этапов их развития в ходе эволюции Земли, включающей и период техногенеза;

б) трансформацию претерпели все экологические функции литосферы – и ресурсная, и геодинамическая, и геохимическая, и геофизическая, причем наиболее резко это выражено в отношении первой и третьей функций;

в) трансформация всех экологических свойств и функций литосферы и формируемых ими эколого-геологических условий на этом этапе происходит под воздействием и природных, и техногенных факторов, причем первые – природные – являются определяющими;

г) техногенное воздействие обуславливает главным образом локальную, местами регионально выраженную их трансформацию, а часто и формирование техногенных аномалий – принципиально новое явление в истории развития эколого-геологических условий; эти аномалии являются новым явлением по месту образования, интенсивности проявления и характеру воздействия на биоту. Часто они совершенно не связаны с особенностями геологического строения территории и обусловлены или крупными авариями (например, «чернобыльский след»), или работой предприятий на привозном сырье. Но даже в случае разработки месторождений полезных ископаемых они возникают в его районе, но принципиально на новом месте;

д) трансформация эколого-геологических условий на этапе техногенеза привела к усложнению полей их пространственного распределения, особенно в районах интенсивной инженерно-хозяйственной и военной деятельности; основным природным фактором, влияющим на усложнение полей проявления экологических функций литосферы, является тектоника и связанный с ней вулканизм (они определяют реализацию сложных геологических процессов, приводящих к гибели экосистем и отдельных территорий и, наоборот, к становлению новых территорий в других местах). Техногенный фактор изменения пространственных границ (полей) проявления функциональных зависимостей между компонентами литосферы и биотой связан с развитием техногенных загрязнений физической, химической и биологической природы (пространственно этот процесс приурочен к интенсивно используемым территориям мегаполисов, промышленным и гор-

нодобывающим районам, т.е. имеет четкую зависимость от характера функционального использования геологического пространства).

Эколого-геологические условия, как следует из изложенного, являются многофакторной динамичной системой, современные особенности которой определяются конкретным сочетанием ее экологических свойств и функций. Формирование и трансформация эколого-геологических условий на современном этапе определяются природными геологическими (региональными и зональными), ландшафтными и техногенными факторами. Последние, действуя совместно с природными факторами, обуславливают локальную, местами региональную, очень быструю трансформацию ранее сформировавшихся эколого-геологических условий [169, 173].

3.2. Основные природные факторы, определяющие специфику эколого-геологической обстановки

Под факторами геоэкологической (эколого-геологической) обстановки здесь понимаются движущие силы (причины) различных процессов, происходящих в природе, обуславливающих формирование и изменение верхней части литосферы (геологической среды), природных и природно-техногенных ландшафтов, запасов и химического состава подземных вод, геохимических и геофизических полей, месторождений полезных ископаемых [63, 92].

Как отмечено выше, природные факторы формирования эколого-геологических условий по преимущественному пространственному влиянию на геологическую среду подразделяются на **региональные, зональные и локальные**. Границы их условные, некоторые факторы иногда могут менять масштаб своей роли в формировании эколого-геологической обстановки.

Основные природные факторы условно разделены на три группы:

- 1) физико-географические факторы – орографические, климатические, гидрологические, геокриологические, геоботанические, почвенные условия;
- 2) геологические факторы – структурно-тектоническая обстановка, литолого-фациальные, гидрогеологические условия;
- 3) геоморфолого-неотектонические и геодинамические факторы.

В первой группе региональными факторами являются орографические (рельеф) и климатические факторы, а в области развития многолетнемерзлых пород – также и геокриологические факторы; другие относятся к зональным и локальным факторам. Во второй группе региональными факторами являются геолого-структурные факторы, другие факторы (литолого-фациальные, гидрогеологические, геохимические, геофизические, экзогеодинамические – экзогенные геологические процессы) имеют зональное и локальное значение.

Третья группа факторов активно действует на всех уровнях (иногда ее включают во вторую группу факторов, или разделяют: геоморфологические факторы относят к физико-географическим факторам, а неотектонические и геодинамические – к геологическим факторам) [51, 63].

При таком классифицировании данные группы факторов имеют приоритетное значение для большинства континентальных регионов (хотя могут быть исключения, что требует индивидуального подхода). При геоэкологическом районировании региональные геологические факторы должны выступать в качестве основных таксонов.

3.3. Геологические и другие природные процессы, их воздействие на геологическую среду

3.3.1. Систематика геологических и других природных процессов по экологическим последствиям

Вопросам классифицирования природных, в том числе и геологических, процессов посвящено много работ, в т.ч. классификации основоположников инженерной геодинамики П. Ф. Саваренского (1937), П. Н. Панюкова (1978), И. В. Попова (1959), В. Ф. Ломтадзе (1977), Г. С. Золотарева (1983), А. И. Шеко (1999) и др. Классификации построены в основном *по генетическому принципу*, без учета влияния этих процессов на биоту. Наиболее подробной является классификация геологических процессов А. И. Шеко и А. М. Лехатинова, в которой геологические процессы систематизируются на группы (эндогенные и экзогенные), подразделяющиеся на классы, подклассы и типы (табл. 3.2).

К классификациям природных процессов с учетом экологических последствий их проявления можно отнести классификацию С. М. Мягкова (1997). В зависимости от физической сути явления, длительности и площади проявления, а самое главное, по характеру воздействия на экосистему им выделены три типа этих процессов: оказывающие преимущественно разрушительное воздействие (падение метеоритов, ураганы, тайфуны, смерчи, наводнения, землетрясения, цунами, потоки вулканических лав и пепла, обвалы, оползни, сели, лавины, подвижки ледников); оказывающие парализующее или истощающее воздействие (дефляция почвы, овражная эрозия, заиление водохранилищ и др.); способные вызвать природно-технические катастрофы (карст, термокарст, термоэрозия, солифлюкция и др.).

Классификация геологических процессов
(по А. И. Шеко, А. М. Лехатинову, с добавлением)

Группы	Классы	Подклассы	Типы
Эндогенные	Связанные с литосферными процессами, современной геодинамикой, неотектоникой	Дифференцированные движения блоков земной поверхности, обусловленные неотектонической активностью	Медленные вертикальные и горизонтальные смещения без колебания (сотрясения) пород. Быстрые вертикальные и горизонтальные смещения с колебанием (сотрясения) пород (землетрясения)
	Связанные с климатическим фактором	Выветривание	Дезинтеграция пород, образование каменных россыпей
Экзогенные	Связанные с действием силы тяжести	Движение с потерей контакта со склоном	Обвалы, осыпи
		Движение без потери контакта со склоном	Оползни, снежные лавины
	Связанные с действием поверхностных вод	Работа водотоков	Склоновый смыв, эрозия оврагообразование, затопление
		Работа озер	Переработка берегов
	Связанные с действием подземных вод	Выщелачивание	Карст
		Механический вынос	Суффозия
		Подъем уровня грунтовых вод в выработке	Подтопление, выброс воды
	Связанные с действием поверхностных и подземных вод	Водонасыщение почвенно-растительного горизонта	Заболачивание
	Связанные с промерзанием и протаиванием пород	Промерзание горных пород	Пучение, криогенное трещинообразование, наледообразование
		Протаивание горных пород	Термокарст, термоэрозия термооползни, солифлюкция
		Высокоамплитудное колебание суточно-сезонных температур горных пород	Курумообразование, десерпция дефлюкция
	Связанные с действием многих факторов на берегах водохранилищ	Работа ветровых и судовых волн. Колебание уровней воды. Комплекс климатических и геодинамических факторов	Переработка берегов: разрушение, эрозия, обвалы, оползни, аккумуляция абразионного материала, заболачивание, всплывание торфяников, подтопление, карст, суффозия, эоловые процессы и др.

Вторая группа классификаций природных процессов экологической направленности (Кофф и др., 1997) [114] учитывает тяжесть последствий проявления процессов для человека через оценку социально-экономического ущерба. Все процессы подразделены на две группы: приводящие и не приводящие к гибели людей. Однако в наибольшей степени для решения поставленной

задачи соответствует классификация природных и геологических процессов, предложенная Н. С. Красиловой (1997) под руководством В. Т. Трофимова [169]. Она построена с учетом числа возможных жертв от проявления тех или иных процессов и возможной площади поражения, а также временных и пространственных характеристик того или иного процесса (рис. 3.1). Однако и эта классификация не в полной мере обеспечивает учет экологических последствий от проявления процессов, так как такая оценка многофакторна, поскольку любой ряд процессов, построенный по числу жертв, достаточно условен и относителен ввиду того, что зависит от интенсивности процесса, плотности населения, научно-технического уровня развития общества и территориальной принадлежности. Кроме того, далеко не каждое проявление опасного процесса сопровождается человеческими жертвами.

В. Т. Трофимов и др. (2002) предлагают еще одну экологически ориентированную классификацию природных процессов, в определенной мере синтезирующую основные положения ранее названных классификаций. Она построена на учете прямого воздействия процессов на человека, на экосистему в целом и опосредованного воздействия процессов на комфортность проживания человека через деформацию или постепенное разрушение инженерных сооружений. Соответственно выделяется три блока (группы) процессов: катастрофические, опасные и неблагоприятные (рис. 3.2).

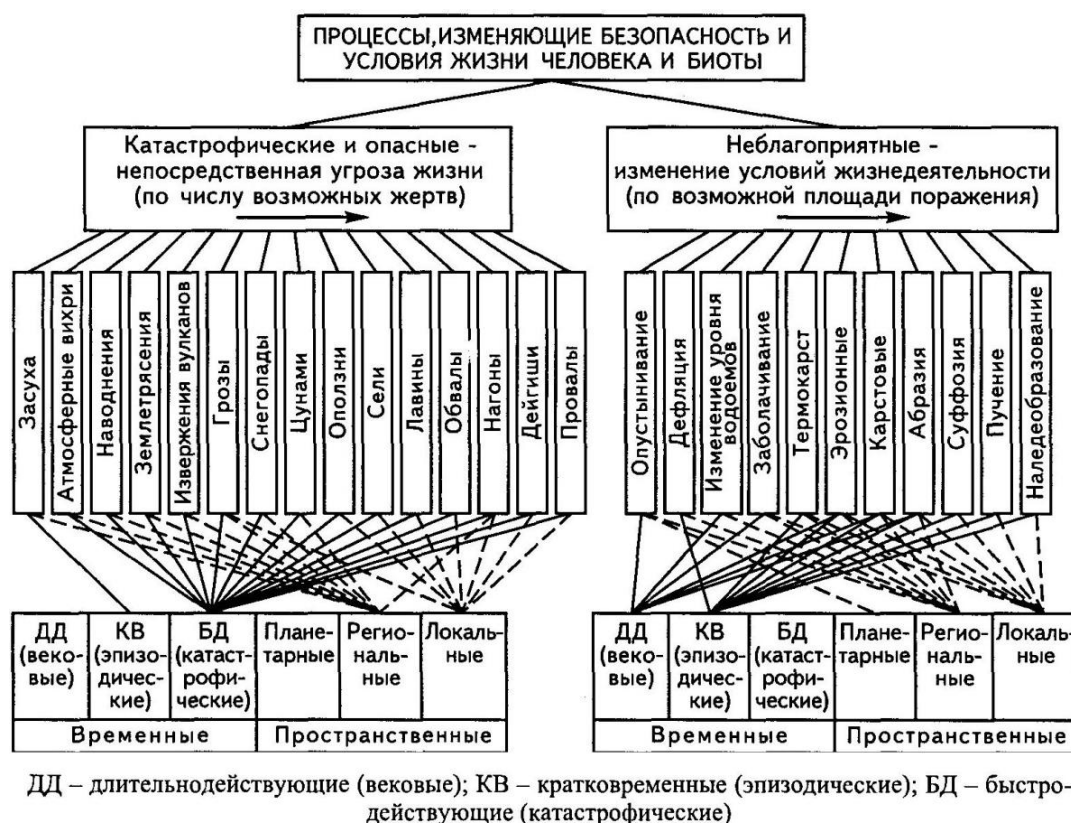


Рис. 3.1. Систематика геологических и других природных процессов по интенсивности негативных воздействий на биоту, включая человека [169]

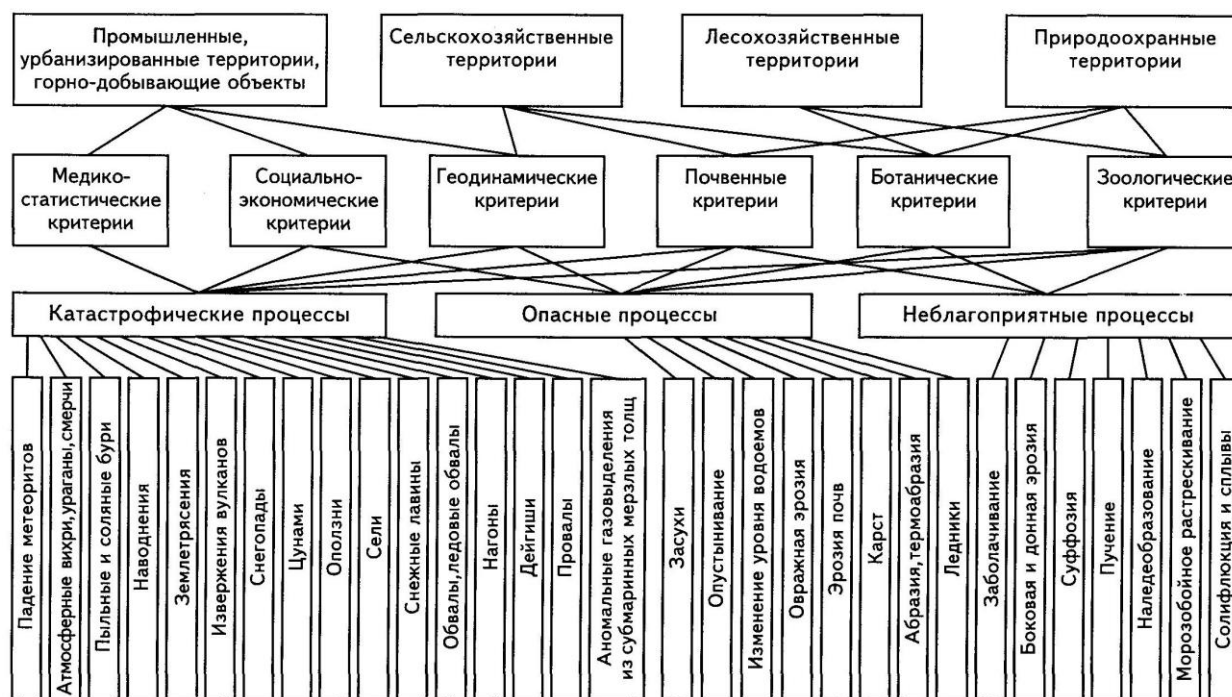


Рис. 3.2. Систематика природных процессов по характеру воздействий на человека и экосистемы [173]

Они хорошо увязываются с определенными видами критериев оценки экологического состояния литосферы и зон нарушенности экосистем, а также основными функциональными единицами при зонировании территорий. По отмеченным позициям классификация удобна в практическом применении при разработке легенд к картам эколого-геодинамических условий и эколого-геодинамического районирования.

3.3.2. Эколого-геодинамические факторы, геодинамические активные зоны и их роль в оценке экологического состояния геологической среды

3.3.2.1. Представления о механизме образования и формировании геодинамических активных зон

Причины и механизм образования геодинамических активных зон еще окончательно не установлены и могут быть представлены лишь схематично. Движущими силами, приводящими к формированию геодинамических активных зон, могут быть как внутренние (внутрипланетарные), так и внешние (космические) причины. Существует много предположений на этот счет и прояснятся они тогда, когда сформируется общая теория Земли, основанная на всеобщем знании о процессах, происходящих во Вселенной и в недрах планеты. По крайней мере, взглядам автора не противоречит новая гипотеза об образовании Земли, предложенная геофизиком А. И. Тихоновым [159], которая основана

на предположении, что в центре Земли находится ядерный реактор, «источником питания которого являются сверхтяжелые элементы (СТЭ), захороненные в начале образования планеты и явившиеся «зародышем» для сгущения космического газопылевого вещества». Гипотеза объясняет многие «необъяснимые» земные процессы и явления как «вечное» вращение и расширение Земли, образование «ядерных плюмов», постоянное магнитное поле Земли, других планет и Солнца, инверсии магнитных полюсов, скачкообразное возрастание к центру плотности Земного ядра, а также избыток урана-234 и высокое содержание гелия-3 в глубинных водах, периодические катастрофические выбросы урана из недр Земли, присутствие в глубинных породах изотопа Pb-204, а также аномальный изотопный состав благородных газов. Согласно гипотезе, источником образования месторождений полезных ископаемых (нефти, газов, алмазов и различных металлов), а также причиной расширения Земли являются ядерные плюмы, представляющие собой результат деятельности («шлаки») ядерного реактора в центре Земли. Они встречаются как внутри плит, так и на дивергентных (раздвигающихся) границах между плитами. Плюмы постепенно поднимаются вверх сквозь пластичное вещество мантии и нередко доходят почти до земной поверхности [159]. Подобных горячих точек на земном шаре, активных в последние 10 млн лет, насчитывается более 120. Они же являются источниками многих землетрясений и извержений вулканов. Возможно, что они являются местами расположения крупнейших геодинамических активных зон.

Особый интерес представляют разработки о планетарной тектонической трещиноватости и линеаментной сети [39]. В. М. Анохиным [1] выдвинуто обоснованное предположение, что на поверхности Земли, включая дно океанов, существует регулярная сеть линейных форм рельефа – планетарная линеаментная сеть – с постоянными характеристиками направленности, не зависящими от типа, возраста, географического положения составляющих ее элементов. Эта сеть имеет четыре главные системы линейных структур с направлениями: меридиональное ($0-10^\circ$), широтное ($80-90^\circ$), северо-восточное (45°), юго-восточное (135°). Количество диагональных систем планетарной сети линеаментов, по результатам данного исследования, равно двум. Эти системы, имея направленности главных осей 45° и 135° с изменением географической широты, колеблются около этих осей по синусоидальному закону в пределах 30° . Планетарная линеаментная сеть пространственно связана с регулярной системой тектонических разрывных нарушений общепланетного масштаба, имеющей четыре главные системы той же направленности. Планетарная линеаментная сеть проявляется на различных иерархических уровнях: планетарном (ли-

нейные структуры 1–2-го порядков), уровне мегаформ (линейные структуры 3–6-го порядков), уровне макроформ (линейные структуры 7–10-го порядков), существенно влияя на рисунок структурного плана всех континентов и океанов, а также ряда регионов в их составе. В основе планетарных сетей линеаментов и разломов лежит глубинная долгоживущая сеть напряженных зон – стресс-сеть, образованная комплексом космодинамических сил, существенной составляющей которого являются ротационные силы. Глубинность линеаментной сети определяется глубинностью линейных структур, входящих в ее состав. Помимо более мелких структур, в ее состав входят глубинные швы зоны перехода континент – океан, трансрегиональные разломы, демаркационные зоны разломов, глубины проявления которых оцениваются во многие десятки и сотни километров. Корни линеаментной сети явно имеют значительную глубинность, что подтверждается и конфигурацией геофизических полей, линейные элементы которых во многих регионах хорошо сопоставляются с четырьмя главными системами глобальной сети. В. М. Анохин и др. вводят понятие о *стресс-зоне* – долгоживущей зоне в земной коре, протяжённой в плане, вертикальной в разрезе, где концентрируются напряжения, порождённые общепланетными (вероятно, в большей мере ротационными) процессами [1]. Понятие о стресс-зонах очень близко к пониманию автора о геодинамических активных зонах, но объясняет образование именно крупных планетарного уровня геодинамических зон, что явно недостаточно для объяснения многих менее крупных геодинамических аномалий, источником образования которых служат процессы, происходящие внутри литосферы.

Заслуживают большого внимания для рассмотрения закономерностей формирования геодинамических активных зон как проявлений литосферы представления о волновой геодинамике литосферы Земли, которые развивает группа ученых (А. В. Викулин, О. И. Гущенко, Е. Е. Милановский, Л. М. Расцветаев, Ю. И. Тверитинов, Т. Ю. Тверитинова и др.), рассматривающая причины закономерной организованности современной структуры литосферы. Волнообразный характер тектонических структур литосферы, циклический характер и миграция геологических процессов во времени и пространстве рассматриваются как результат волновой геодинамики литосферы Земли, отражающей периодическое изменение ее напряженного состояния. Действие структурообразующих тектонических сил определяется интерференцией тангенциальных и радиальных напряжений Земли. Тектонические напряжения, в первую очередь тангенциальные, обусловлены ротационным режимом планеты. Радиальные напряжения в значительной мере обусловлены силой тяжести и

гравитационной дифференциацией вещества. Ряд явлений – волны миграции сейсмической и вулканической активности, движение тектонических плит и вихревые тектонические структуры – объединяются в единый планетарный волновой геодинамический процесс [158].

Модель формирования геодинамических активных зон представляется близкой линеаментно-доменно-фокальной модели зон возникновения очаговых землетрясений (по В. И. Уломову [177, 178]) в соответствии с принятой концепцией выявления сейсмогенерирующих структур (СГС) в ОСР-97, где рассматриваются четыре уровня источников землетрясений: крупный регион с интегральной характеристикой регионального сейсмического режима, линеаменты (оси трехмерных сейсмоактивных разломных структур), домены (квазиоднородные в геодинамическом отношении объемы геологической среды) и потенциальные очаги землетрясений, указывающие на наиболее опасные участки (фокусы) СГС (рис. 3.3). Последние и представляют собой геодинамические активные зоны разного уровня.

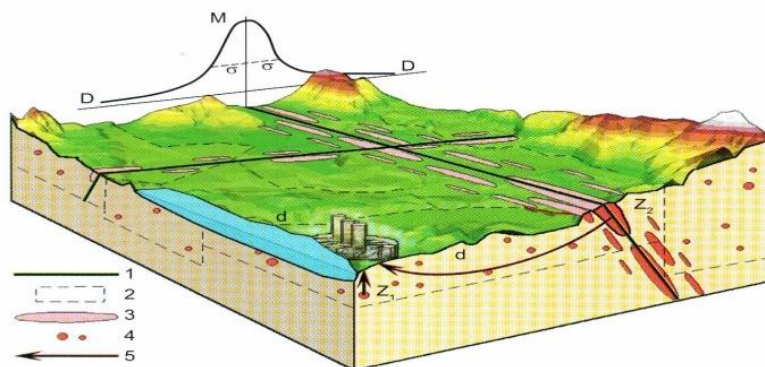


Рис. 3.3. Линеаментно-доменно-фокальная модель [177]

3.3.2.2. Определение и систематика геодинамических активных зон

В геодинамической терминологии существуют различные термины, такие как «геоактивные зоны», «геологически активные зоны», «тектонически активные зоны», «неотектонически активные зоны», «активные зоны Земли, планеты и др.» и прочие активные зоны, или просто геодинамические зоны, однако определения их практически отсутствуют.

Одно из определений дано в нормативном документе Госатомнадзора России (РБ-019-01. М., 2001) по оценке сейсмической опасности участков размещения ядерно- и радиационно опасных объектов на основании геодинамических данных, где указано, что «геодинамические зоны – тектонические структуры, активные в четвертичном периоде геологического развития».

Более точное определение дано В. И. Макаровым и Н. В. Макаровой [123]: «Геодинамически активные зоны – зоны концентрации тектонических напряжений и деформаций, характеризующиеся аномальным состоянием геологической среды, в том числе ее напряженного состояния, повышенными подвижностью, трещиноватостью, флюидо- и газопроницаемостью с соответствующими особенностями флюидо- и газодинамики, аномалиями гравитационного, теплового и других геофизических полей».

Таким образом, *геодинамические активные зоны (геоактивные зоны, ГАЗ)* представляют собой участки земной коры, различные по объему, конфигурации и площади, активные на современном этапе неотектонического развития, характеризующиеся пониженной прочностью, повышенной трещиноватостью, проницаемостью и, как следствие, проявлениями разрывной тектоники, сейсмичности и других процессов [63, 74, 120]. Как правило, геоактивными зонами являются мобильные зоны трещинно-разрывных нарушений на границах блоковых структур, узлы пересечения разнонаправленных нарушений, осложняющие неотектонические блоки; внутриблоковые участки сгущения сети нарушений.

Вопрос о классификации, ранжировании и критериях выделения геодинамических активных зон является одним из наиболее сложных. По аналогии с классификацией новейших тектонических структур (В. И. Бабак, Н. Н. Николаев и др. [134]), а также с ранговой шкалой дизъюнктивных структур (по Р. М. Лобацкой, Г. Л. Кофф [122]) можно представить следующую систематику геодинамических активных зон, включающую уровни, классы, ранги, размерность, масштабы (табл. 3.3).

Выделяется пять уровней геодинамических активных зон: глобальный, субглобальный, региональный, зональный, локальный, которые охватывают все разнообразие по размерам и их глубинности проникновения в земную кору. Геоактивными зонами глобального и субглобального уровня являются глобальные зоны интенсивной современной деструкции земной коры на границах крупных и малых литосферных плит (Средиземноморско-Индонезийская, Африкано-Чукотская, Филиппино-Камчатская, Кордильеро-Андская и др.), конвергентные сейсмоактивные структуры – зоны субдукции и их реликты на континентах, на региональном уровне (геозоны) – их крупные сегменты, основным признаком которых служит размещение очагов землетрясений.

Общая классификация геодинамических активных зон [63]

Систематика геодинамических активных зон				
Уровень	Класс	Ранг	Размерность	Масштаб изучения
Глобальный	Планетарные зоны	1	Неск. тыс. км, неск. сотен тыс. км ²	1:10 000 000 и меньше
Субглобальный	Субланетарные зоны	2	Первые тыс. км, десятки тыс. км ²	1:5 000 000
Региональный	Геозоны	3	До тыс. км, первые десятки тыс. км ²	1:2 500 000
	Мегазоны	4	Сотни км, первые тыс. км ²	1:1 000 000
Зональный	Макрозоны	5	До 100 км, неск. сотен км ²	1:500 000
	Мезозоны	6	До 50 км, до 100 км ²	1:200 000
Локальный	Локальные зоны I порядка	7	1–2 до 25 км, неск. десятков км ²	1:100 000
	Локальные зоны II порядка	8	0,5–1 до 10 км, неск. км ²	1:50 000
	Локальные зоны III порядка	9	Доли и единицы км, доли и единицы км ²	1:25 000 и крупнее

Геоактивными зонами на региональном (мегазоны), зональном (макрозоны, мезозоны) и локальном уровнях различных порядков, как правило, являются мобильные зоны трещинно-разрывных нарушений на границах блоковых структур, узлы пересечения разнонаправленных нарушений, осложняющие неотектонические блоки, внутриблоковые участки сгущения сети нарушений (рис. 3.4, 3.5, 3.6).

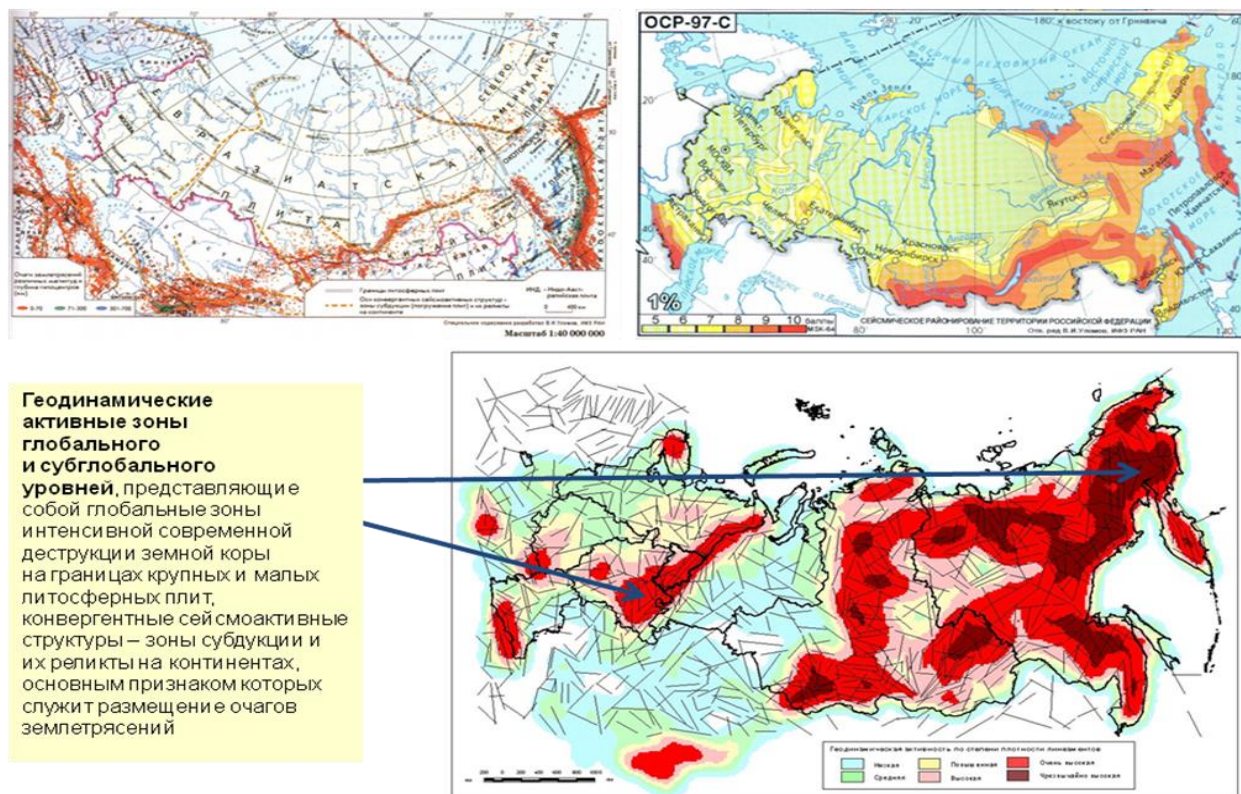


Рис. 3.4. Пример геодинамических активных зон глобального и субглобального уровней [63]

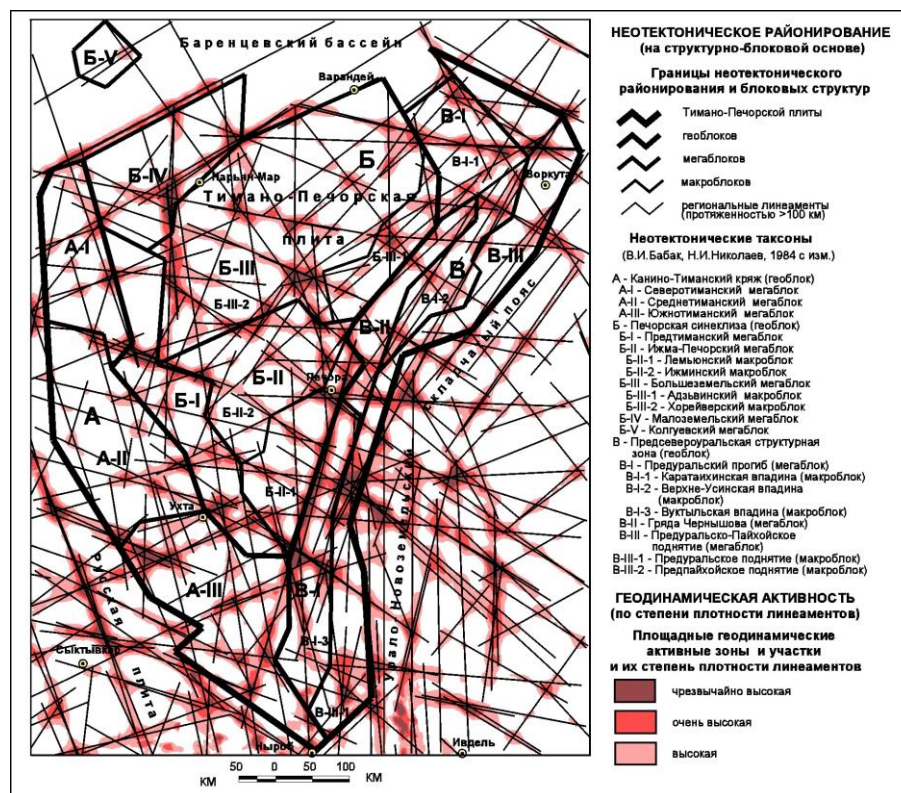


Рис. 3.5. Геодинамические активные зоны регионального уровня (Тимано-Печорская плита) [64]

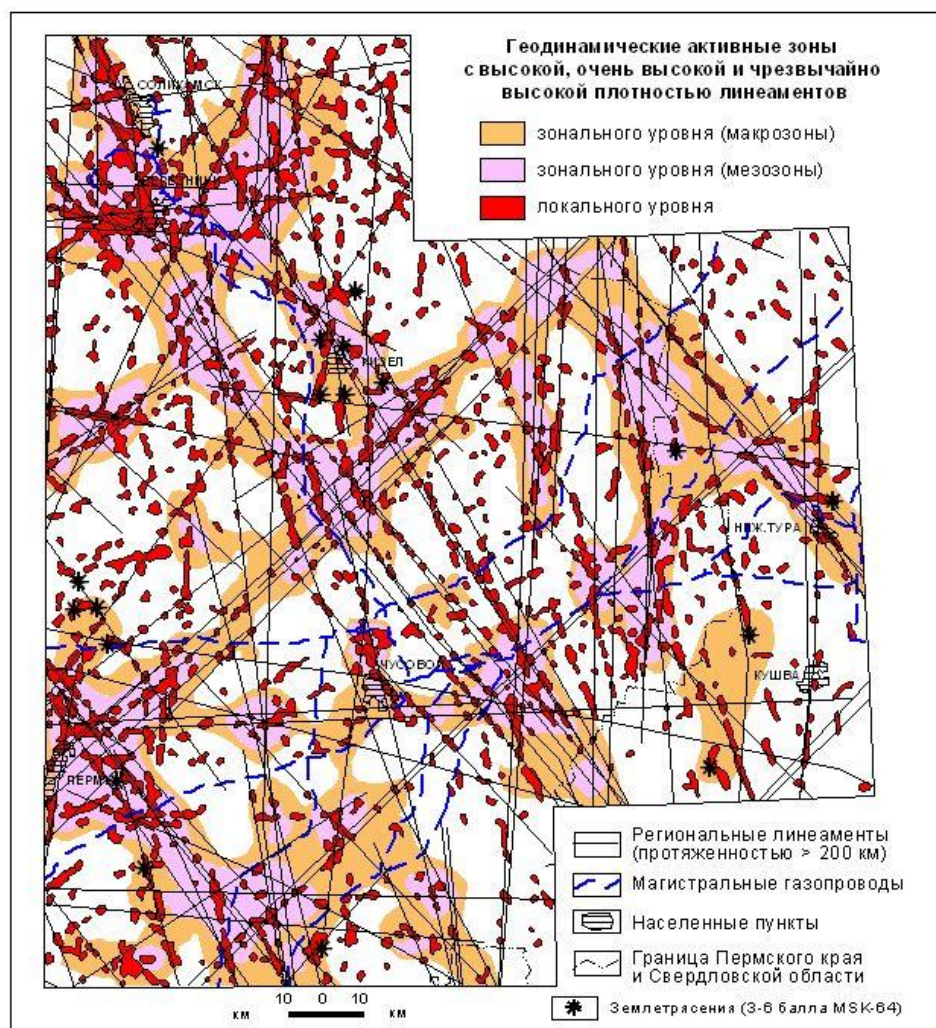


Рис. 3.6. Геодинамические активные зоны локального и зонального уровней (Средний Урал) [63]

3.3.2.3. Геоэкологическая роль геодинамических активных зон

Геодинамические активные зоны активно влияют на экологическое состояние геологической среды, геоэкологические процессы и активно участвуют в формировании геоэкологических и инженерно-геологических условий [50–52, 56, 63, 66, 135].

Под **геоэкологическими процессами** понимаются процессы, происходящие под влиянием геологических и других природных факторов, влияющие на экологическую обстановку – состояние окружающей среды и здоровье человека.

Геодинамические активные зоны тесно связаны с так называемыми **геопатогенными зонами**, т.е. литосферно обусловленными зонами биологического дискомфорта (по В. Т. Трофимову и др. [132]), разделяющимися на геопато-

генные (геопатогенные геохимические и геофизические аномалии) и техногенные зоны, каждая из них соответственно – на геохимические и геофизические аномалии. В составе геопатогенных и техногеопатогенных геохимических аномалий выделены литогеохимические, гидрогеохимические, атмогеохимические аномалии (рис. 3.7).

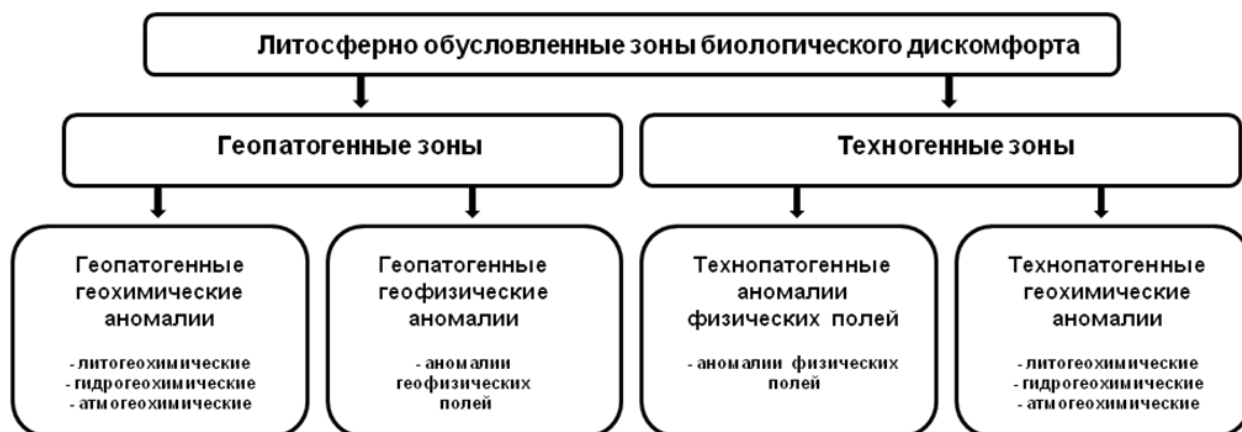


Рис. 3.7. Схема классификации зон биологического дискомфорта [132]

Рассмотрим влияние геодинамических активных зон на формирование геохимических аномалий как важнейшей составляющей части геоэкологических условий. Установлено, что многие из них влияют на здоровье человека. Многими исследованиями во всем мире показана пространственная и статистическая корреляционная связь зон повышенной тектонической трещиноватости с различными геохимическими аномалиями [122]. При проведении структурно-геохимического, ландшафтно-геохимического, многоцелевого геохимического анализов установлена тесная пространственная связь повышенной геодинамической активности с аномальными геохимическими полями [121]. Приведем некоторые примеры.

На юго-западе Сибирской платформы в пределах Байкитской антеклизы и ее обрамлений (Красноярский край) в условиях распространения многолетнемерзлых пород [49] при проведении нефтегазопроисловых геохимических исследований (ГНПГ) проведен анализ геохимических полей комплексом геохимических методов по основным природным компонентам: подземным и поверхностным водам, почвам, породам, растительности, снежному покрову, надпочвенному воздуху (рис. 3.8).

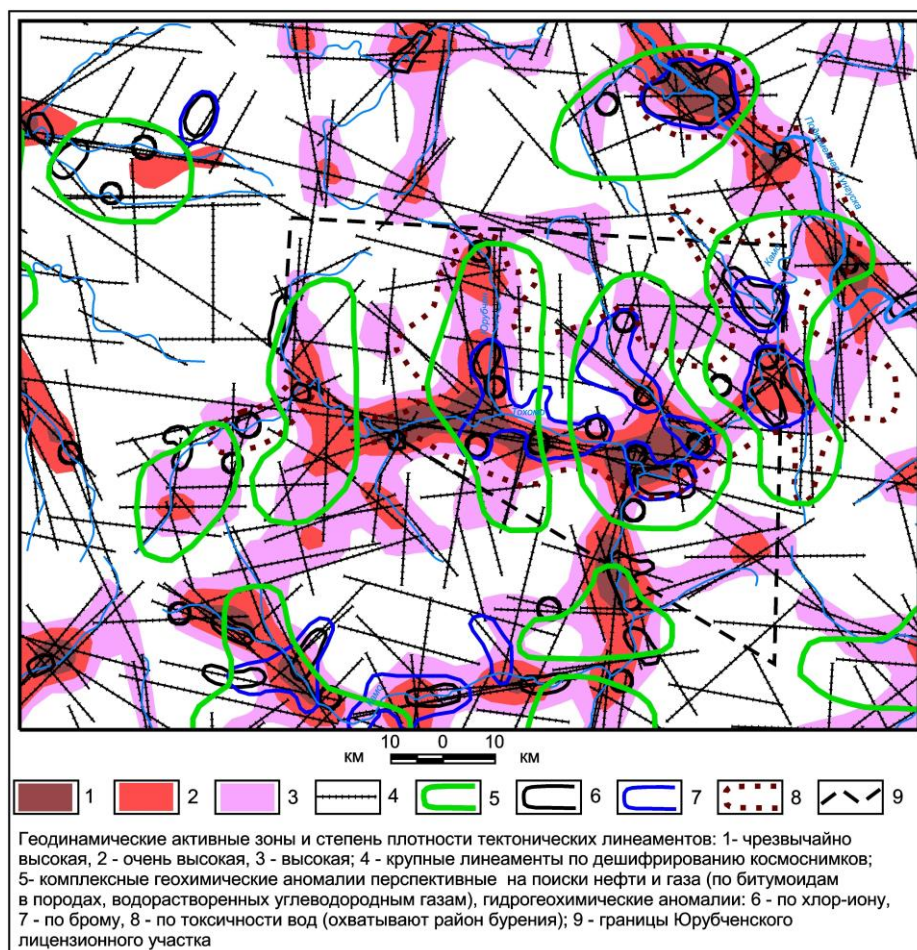
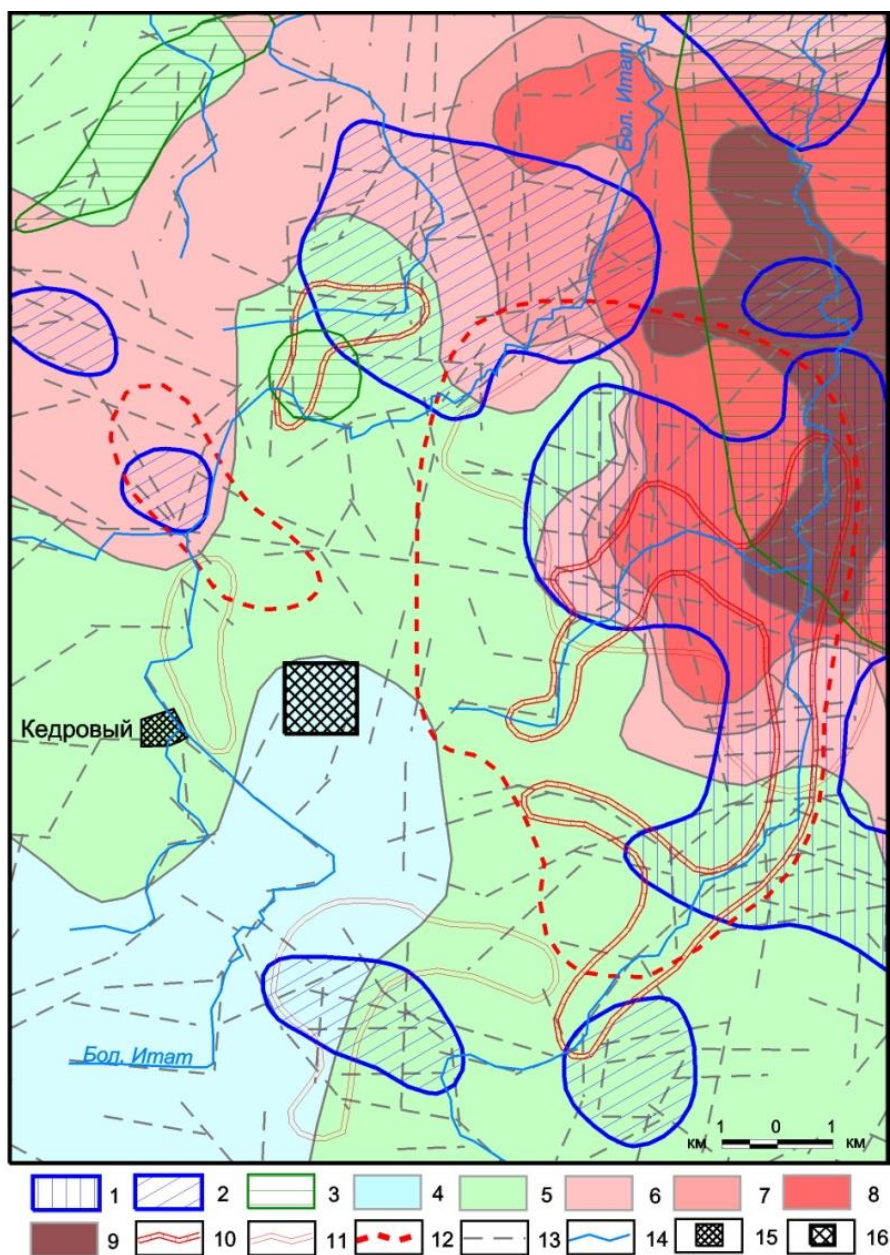


Рис. 3.8. Пространственная взаимосвязь геодинамических активных зон и геохимических аномалий (Красноярский край) [52]

В результате обработки материалов, включающих более 15 000 точек геохимического пробоотбора, установлены показатели, характеризующие миграционную способность вещества земной коры по тектонически ослабленным зонам. Закартировано более 30 комплексных геохимических аномальных зон с площадями от 100 до 700 км², на некоторых из них выявлены залежи нефти и газа. Установлена хорошая пространственная и корреляционная сходимость геохимических (гидрогазобioхимические, литогеохимические, битуминологические показатели), гидрогеологических (модули подземного и подземного химического стока) аномалий с геоактивными зонами [46, 52, 63, 104, 106].

При проведении структурно-геохимического анализа Енисейского кряжа, на одном из участков Нижнеканского гранитоидного массива (где проектировалось хранилище высокотоксичных радиоактивных отходов) была закартирована зона высокой геодинамической активности (неблагоприятных условий для строительства инженерных сооружений). В ее пределах были установлены геохимические аномалии с высоким содержанием гелия и углеводородов в подземных водах и снежном покрове, микроэлементов в почвах. На другом участке, который рекомендовался для размещения хранилища радиоактивных отходов как более без-

опасный по геодинамическим условиям, закартирована зона низкой геодинамической активности с фоновыми показателями [63, 98, 103, 105, 120] (рис. 3.9).



Геодинамические активные зоны по линейно-геодинамическому анализу, с плотностью линейментов: 1 - очень высокой, 2 - высокой; 3 - участки с очень высокими значениями коэффициента расчлененности рельефа. Участки модуля подземного химического стока, г·л/с/км²: 4 - <0.1, 5 - 0.1-0.3, 6 - 0.3-0.5, 7 - 0.5-0.7, 8 - 0.7-1.2, 9 - >1.2. Геохимические аномальные зоны: 10 - по углеводородным газам и гелию в подземных и поверхностных водах; 11 - по углеводородным газам и гелию в снежном покрове; 12 - по микроэлементам в почвах и растительности (суммарный балл по 25 микроэлементам); 13 - тектонические линейменты по дешифрированию космоснимков; 14 - гидросеть; 15 - населенный пункт; 16 - участок с наиболее стабильными геодинамическими условиями, рекомендуемый для строительства пункта глубокого захоронения радиоактивных отходов

Рис. 3.9. Геодинамическая оценка Нижнеканского гранитоидного массива геоморфологическими, геохимическими и гидрогеологическими методами [63, 120]

На Западном Урале и в Приуралье за последние 30 лет накоплен огромный объем геохимических данных (более 300 тыс. проб) при проведении региональных геолого-геохимических, гидрогеологических и геоэкологических исследований, многоцелевого геохимического картирования.

В результате их было выявлено большое количество геохимических аномалий по многим компонентам геологической среды. Установлено 21 комплексных литогеохимических и 13 гидрогеохимических аномальных зон площадью 1–9 тыс. км² [44, 51, 55, 63]. Их положение также обнаруживает хорошую пространственную сходимость с геоактивными зонами (рис. 3.10) [47, 48].

По гидрогеологическим и гидрогеохимическим показателям (Мпс, Мпхс, Мувс) можно с высокой точностью картировать локальные положительные структуры и выделять геодинамические активные зоны. На участках развития многих положительных структур (60–80 % от общего числа выявленных) и геодинамических активных зон имеет место повышенный подземный сток.

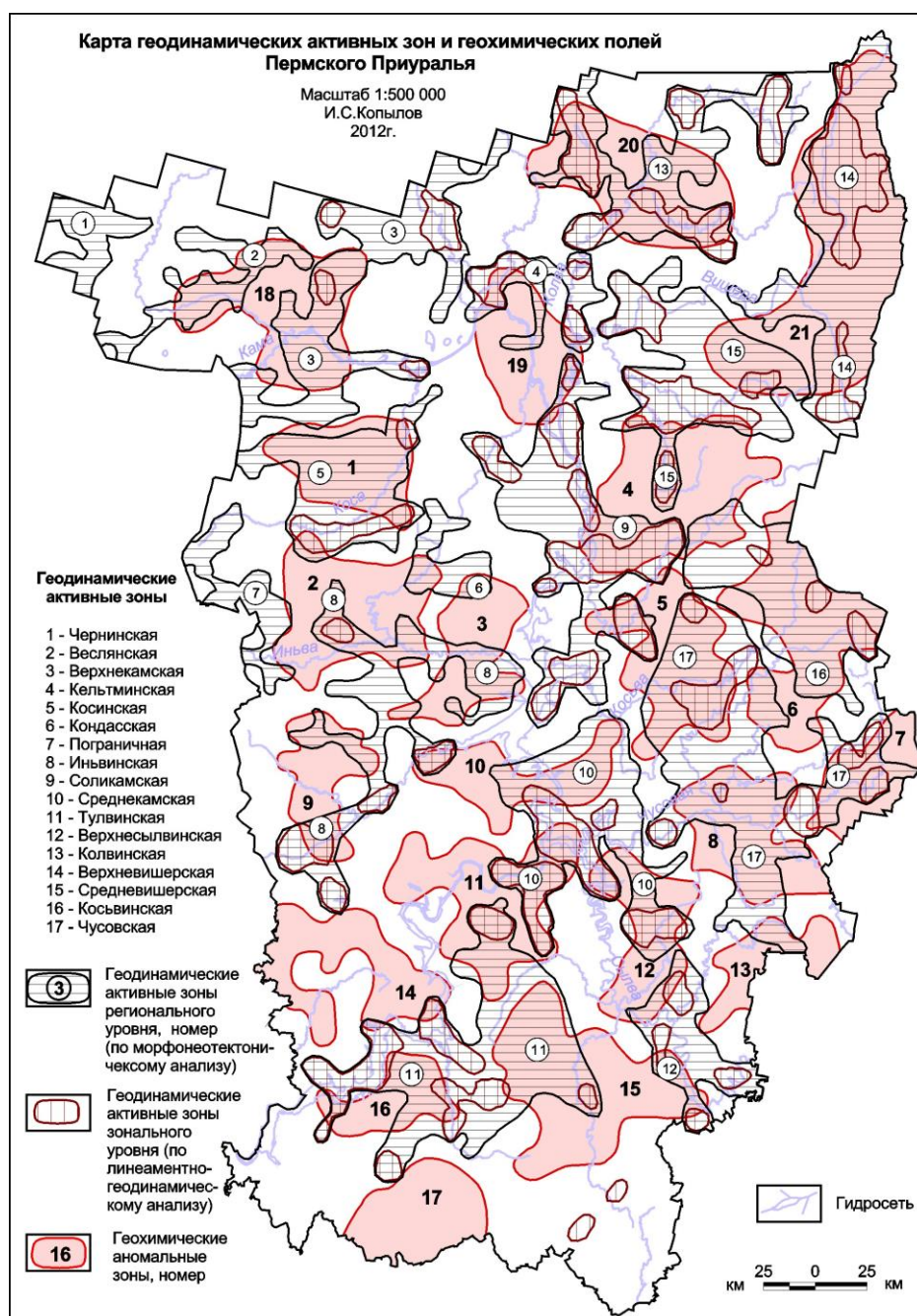


Рис. 3.10. Геодинамические активные зоны и литогеохимические аномальные зоны Пермского Приуралья и Урала [51]

3.3.3. Характеристика катастрофических, опасных и неблагоприятных геологических процессов

3.3.3.1. Катастрофические процессы

Термин *катастрофический процесс* (*катастрофа*, по греч. *katastrofe* – переворот, гибель). В специальной литературе толкование этого термина достаточно широкое и не очень строгое. Так, Г. С. Геворкян и Ж. Х. Калантарова (1999) относят к катастрофическим те процессы, которые отклоняют состояние природной среды от диапазона, оптимального для жизни человека как биологического вида и социума (имеется в виду технология производства). А. Г. Ананьев (1992) к катастрофическим процессам относит те, которые нарушают нормальное функционирование системы (экосистемы), в результате чего она разрушается и заменяется новой. В. М. Котляков и др. (1993) считают, что катастрофа происходит при достижении критического порога напряженности с быстрым и неуправляемым разрушением прежних структур системы. С эколого-геологических позиций, наиболее удачное определение катастрофы дано В. И. Даниловым-Данильяном (1999): «Катастрофа означает внезапное событие, быстротекущий процесс, влекущий тяжелые последствия, разрушения и жертвы. Это резкое изменение структуры системы (экосистемы), приводящее к разрушению какой-либо ее области. Причиной такого изменения может быть как внешнее воздействие на эту область системы, так и разрядка ее внутренних напряжений, превысивших прочность структуры». При этом отмечается, что природные катастрофы естественны и неизбежны как компонент эволюционного развития Земли.

Исходя из приведенных определений катастроф, к их числу следует относить процессы, представляющие непосредственную угрозу для жизни человека и характеризующиеся неопределенностью момента возникновения и интенсивного проявления. С этих позиций к катастрофическим процессам относят ураганы, наводнения, землетрясения, оползни, сели, лавины, обвалы, нагоны, провалы. Этот перечень следует дополнить космическими катастрофами, связанными с падением на Землю крупных метеоритов (типа Тунгусского), астероидов и комет, так как существуют представления о космических причинах экологических кризисов.

Сами катастрофические процессы, как правило, имеют тяготение к определенным регионам, где они чаще всего происходят и приводят к наибольшему количеству жертв, образуя региональный ряд по этому показателю. Для Африки характерны засухи, для Индии – наводнения, для Тихоокеанского побережья

Америки – ураганы и тайфуны. Такие же зоны выделяются на территории России: извержения вулканов и цунами происходят чаще всего в Курило-Камчатской зоне, а сели, оползни и обвалы – в горах Кавказа и Урала.

Территории, на которые катастрофические процессы оказывают воздействие, по размерам подразделяются на *планетарные, региональные и локальные*.

Планетарный уровень – наиболее объемный. В целом это сфера жизнедеятельности биоты. Элементами неоднородности на данном уровне являются материки и океаны. К процессам, оказывающим воздействие на всю планету, можно с уверенностью отнести падение астероидов и комет, которые приводили к массовому вымиранию биоты. Ряд массовых вымираний фауны на суше происходил при разрушении гигантских комет в зоне земной орбиты, повлекшим за собой резкое увеличение межпланетной пыли и уменьшение солнечной инсоляции.

Региональный уровень. Элементами неоднородности на этом уровне являются складчатые области, щиты и платформы, сейсмодислокации, вулканические пояса и связанные с ними новейшие тектонические движения. К процессам регионального воздействия относятся землетрясения, цунами, извержения вулканов, наводнения, засухи, вихри, снегопады. Их воздействие распространяется на целые регионы. Характерной особенностью проявления процессов регионального воздействия является слабое влияние на них антропогенных факторов. Это в основном природные процессы. Исключением являются вызванные (или наведенные) землетрясения, возникающие при разработке крупных месторождений полезных ископаемых, эксплуатации крупных горных водохранилищ или при закачке сточных вод в глубокие скважины в районах сейсмической активности. Однако, по данным многолетних наблюдений, они никогда не достигают максимальной интенсивности, а следовательно, и катастрофических последствий для человека.

Локальный уровень. Элементами неоднородности являются особенности геологического строения и свойства пород. К процессам локального воздействия относятся оползни, сели, лавины и карстовые провалы. Так, площадь поражения у наиболее распространенных процессов – оползней – зависит от типа и объема смещения. Она, как правило, составляет 600–1200 м². В связи с ограниченностью площади поражения оползни уносят меньшее число человеческих жизней, чем региональные процессы, особенно в густонаселенных районах. На локальном уровне более сильно сказывается техногенная нагрузка, способная ускорить катастрофическое развитие природных процессов или даже вызвать их [173].

Кроме перечисленных факторов, влияющих на оценку количества человеческих жертв при появлении опасных и катастрофических процессов, необходимо учитывать и склонность их к *парагенезу и синергизму*. Редко на какой-либо территории развит только один геологический процесс, чаще всего на нее воздействуют их парагенетические комплексы, которые и образуют геодинамический фон той или иной территории и определяют вклад процессов в ее экологическую обстановку.

Сказанное говорит о том, что оценка воздействия природных, в том числе и геологических, процессов на экосистему и человека – задача сложная и требует индивидуального подхода не только к процессу, но и к территории. Это касается и выбора критериев такой оценки, и вопросов классифицирования этих процессов. Крайне сложно предложить пригодную для всех случаев единую классификацию опасных процессов без учета времени, места, интенсивности и площади проявления того или иного процесса. В зависимости от этих параметров один и тот же процесс может попасть или в группу опасных, или в группу неблагоприятных. Это закономерно и должно учитываться при составлении эколого-геологических карт [173].

Землетрясения – это мгновенное высвобождение энергии за счет образования разрыва в некотором объеме горных пород, при этом происходит *скачкообразная* деформация пород с образованием упругих волн с подземными толчками и колебаниями земной поверхности. От объема пород зависит сила сейсмического толчка и выделившаяся энергия. *Гипоцентром* землетрясения называют условный центр очага землетрясения в глубине, а *эпицентром* – проекцию гипоцентра на поверхность земли. В зависимости от глубины гипоцентра различаются: мелкофокусные землетрясения – до 70 км, среднефокусные – 70–300 км, глубокофокусные – 300–700 км. Наиболее распространены землетрясения с глубиной очага 10–30 км [178].

Первопричиной землетрясений являются глобальные геологические и тектонические силы, однако в настоящее время их природа не совсем ясна. Появление этих сил связывают с перепадами температуры в недрах Земли. Большинство землетрясений возникает на окраинах тектонических плит. Замечено, что за последние два века сильные землетрясения возникли в результате вспарывания крупных разломов, выходящих на поверхность.

Ежегодно приборами регистрируется более миллиона землетрясений. Рост количества пунктов наблюдений и совершенствование приборов для записи сейсмических колебаний позволили регистрировать с каждым десятилетием всё больше землетрясений, происходящих в недрах планеты. Если в начале

1900-х гг. регистрировалось около 40 землетрясений магнитуды 7 и выше, то к XXI в. местоположение и сила всех происходящих землетрясений такой магнитуды фиксировались и количество таких событий составило более 4000 случаев за десятилетие.

В зависимости от энергии землетрясений они условно подразделяются на сильные, слабые и микроземлетрясения. Термины «разрушительное» или «катастрофическое» используются по отношению к землетрясению любой энергии и природы, если оно сопровождалось разрушениями и гибелью людей.

При **определении силы землетрясения** учитывается воздействие сейсмических волн на земную поверхность, на здания, на жизнь и здоровье человека. Интенсивность землетрясений оценивается по **Шкале Рихтера**, содержит условные единицы (от 1 до 9,5) – магнитуды, которые вычисляются по колебаниям, регистрируемым сейсмографом. Также измеряется по *шкале интенсивности землетрясения в баллах* (по 7 или 12-балльной системе), которая основана на внешних проявлениях подземного толчка (воздействие на людей, предметы, строения, природные объекты). Интенсивность – качественный показатель последствий, характеризующий размер ущерба, количество жертв и восприятие людьми последствий землетрясений.

Большая часть крупных землетрясений приурочена к зонам альпийской складчатости, к которым относятся Средиземноморская и Трансгималайская зоны и Тихоокеанское кольцо горных сооружений (рис. 3.11).

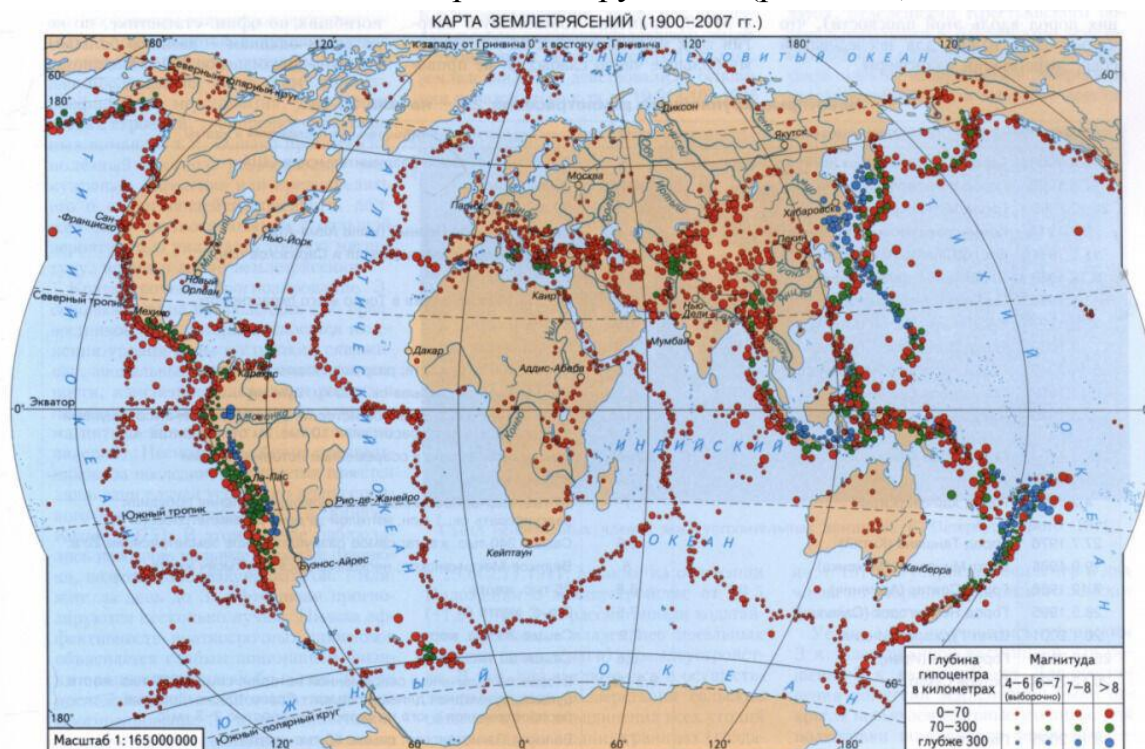


Рис. 3.11. Карта землетрясений мира

Сила землетрясений достигает здесь 7–10 баллов. В сейсмически опасных районах проживает более половины населения Японии, в Китае – одна треть, в США – одна седьмая, в СНГ – десятая часть населения, а в России – менее одной сотой части граждан.

Землетрясение – это бедствие с прямым и косвенным (вторичным) воздействием на природную среду в виде оползней, цунами, пожаров, снежных лавин и т.д. Оно вызывает огромное число жертв и большие материальные убытки. Исходя из общего числа жертв стихийных бедствий за период 1947–1967 гг., Сааринен отводит землетрясениям третье место среди опасных природных явлений. За эти 20 лет на Земном шаре в результате землетрясений погибло 56 100 человек, что составляет 12,7 % от общего числа жертв стихийных бедствий. За этот период по числу жертв землетрясения уступают только наводнениям и ураганам. Всего же в XX в. в результате землетрясений погибло не менее 800 тыс. человек.

Экологические последствия от землетрясения зависят от силы сейсмических волн, достигающих поверхности, частоты, типа и продолжительности сейсмических колебаний, от конструктивных особенностей здания, типа и состояния грунта основания. Общий ущерб от разрушения зданий в Каракасе при землетрясении в 1967 г. превысил 100 млн дол., при этом погибло 250 человек. Исключительно тяжелое по своим социально-экономическим последствиям было Спитакское (9–10 баллов) землетрясение 7 декабря 1988 г., когда число погибших превысило 25 тыс. человек, а убытки составили свыше 8 млрд руб.

Сильные землетрясения приводят к серьезным изменениям природной среды. Эколого-геологические последствия выражаются прежде всего в изменении топографии земной поверхности в результате изменения конфигурации водораздельных поверхностей и горных хребтов, образования новых прибрежных и подводных равнин, образования грабен и рвов, трещин со значительным растяжением.

При Гоби-Алтайском 12-балльным землетрясении в 1957 г. хребет Гурван-Сайхан высотой до 4000 м и протяженностью в 257 км был поднят и сдвинут к востоку. Образовались многочисленные разрывные нарушения, грабены шириной от 800 м до 3,5 км, тектонические рвы с глубиной до 19 м, водораздельный участок г. Битут протяженностью 3 км и шириной 1,1 км опустился на 328 м. В Монголо-Охотском регионе на северном склоне хребта Хамар-Дабан в результате землетрясения были сорваны и сброшены в долину островерхие пикообразные вершины гор. Соединившись вместе в виде усеченных конусов, они образовали плосковерхий водораздел. Землетрясение в штате

Миссури в 1811 г. привело к тому, что на нескольких тысячах квадратных километров произошли большие изменения в положении поверхности земли. Огромные участки были подняты и опущены на 6 м, осушены болота, изменено направление р. Миссисипи, возникли новые озера. Следовательно, землетрясения местами приводят к коренному преобразованию рельефа и изменению ресурса геологического пространства.

Последствия землетрясений особенно катастрофичны, когда они приводят к активизации экзогенных сейсмогравитационных процессов, таких как обвалы, оползни, глыбовые и грунтовые лавины, сели и пр. Во время Сарезского землетрясения в 1911 г. на центральном Памире огромная масса обломочного материала объемом более 2 млрд м³ обрушилась с правого борта долины р. Бартанг, завалила ее, обусловив образование узкого и глубокого Сарезского озера. Под завалом был погребен кишлак с людьми, под водой нового озера оказался второй кишлак. Образовавшееся Сарезское озеро породило массу дополнительных экологических проблем, связанных с возможностью прорыва перемычки. При Хаитском землетрясении в 1949 г. на территории Таджикистана, где максимальное сотрясение достигало 9–10 баллов, в результате обвалов, схода лессовых оползней, грязекаменных лавин было завалено 33 поселка, разрушено полностью или частично – 150.

Землетрясения опасны тем, что они относятся к быстросейсмическим геологическим процессам. Продолжительность главного толчка, характеризующегося наибольшей магнитудой, редко достигает минуты, обычно это несколько секунд.

Это бедствие застает людей врасплох и поэтому приводит к большим жертвам. По площади действия землетрясения могут быть различными в зависимости от магнитуды и глубины расположения очага. Землетрясение в 1811 г. в штате Миссури вызвало сотрясение двух третей территории США на площади 2,6 млн км² и ощущалось в Канаде. Но тяжелые экологические последствия были приурочены к эпицентральной зоне, а значительные – на площади в несколько тысяч квадратных километров. Поэтому землетрясение следует рассматривать как катастрофический процесс регионального уровня [122].

Особую роль играют **техногенные землетрясения** – сейсмические события, вызванные человеческой деятельностью и не связанные с природными причинами. Причины техногенных землетрясений связаны с разными родами деятельности, такими как подземные разработки и добыча полезных ископаемых, строительство подземных сооружений, инфраструктуры, работа гидротехнических сооружений, а также ядерные испытания. Каждый из этих факторов

может оказывать различное воздействие на земную кору и приводить к техногенным землетрясениям.

Извержения вулканов

Вулканизм (от имени древнеримского бога огня – Вулкана) – это совокупность процессов и явлений, связанных с перемещением магмы в верхней мантии и земной коре, излиянием или выбросом ее в виде лавы на поверхность при вулканических извержениях. Вулканы – геологические образования на поверхности земной коры, где магма выходит на поверхность, с образованием лавы (дегазованная магма), пирокластических потоков, вулканических бомб и др. (рис. 3.12).



Рис. 3.12. Извержение Кумбре-Вьеха (2021 г.)

В зависимости от вулканической активности вулканы подразделяются на действующие, спящие, потухшие и дремлющие. Большинство вулканов приурочено к местам тектонических разломов в земной коре (геосинклиналям).

В настоящее время в мире насчитывают около **900** активных вулканов. Проявление современного вулканизма приурочено к областям альпийской складчатости. Почти 80 % действующих вулканов связаны с зоной, которая прослеживается по Тихоокеанскому побережью Северной и Южной Америки, Алеутским островам, Камчатке, Японским островам, Индонезийскому архипелагу, Новой Зеландии. Остальные вулканы приурочены к бассейну Средиземного моря.

К факторам вулканической деятельности, обладающим разрушительной силой, относят взрывную волну, лавовые потоки и вулканические аэрозоли, пирокластические потоки, палящие тучи (волны), пепловые тучи. В зависимости от форм извержения преобладают те или иные факторы. Виды воздействия, которые они оказывают, подразделяют на пять групп: механические, термические, химические, электромагнитные и психологические. По характеру они могут быть необратимо катастрофическими, угнетающими или стимулирующими. Особенно значительными оказываются механические и термические воздействия. Сила воздействия указанных факторов зависит от типа извержения, количества вулканогенного материала, его размерности и температуры; все эти величины уменьшаются по мере удаления от вулкана.

Извержения являются чрезвычайными ситуациями и нередко приводят к стихийным бедствиям. Это одно из самых грозных и значительных явлений природы. Экологическое воздействие их многогранно. С деятельностью вулканов в истории Земли связывают вымирание отдельных видов животных и возникновение новых. За счет вулканической деятельности прошлых эпох около седьмой части поверхности России и сопредельных территорий покрыто лавами и туфами. Многие исследователи связывают эпохи оледенения четвертичного периода с вулканическими циклами. И даже вулканическую активность рассматривают как одну из причин перехода от человекообразной обезьяны к человеку. Извержения вулканов порождают стихийные бедствия для всего живого, разрушают целые города, преобразуют рельеф и речную сеть, воздействуют на почвенно-растительный покров и изменяют ландшафт в целом, а следовательно, и ресурс геологического пространства.

По подсчетам Е. К. Мархинина, вулканы в среднем за год выбрасывают примерно 2 млрд т вулканического пепла. Из-за этого уменьшаются прозрачность воздуха, солнечная радиация, увеличивается облачность и количество осадков, происходит значительное загрязнение атмосферы многокомпонентной газовой смесью, включающей углекислый газ, галоиды, сернистый газ, сероводород, аммиак и такие элементы, как мышьяк, бор, тяжелые металлы. По подсчетам Б. И. Пийна, во время извержения Ключевского вулкана в 1945 г. за 10 ч было выброшено 27 млн м³ газа. Загрязняют атмосферу и фумарольные газы. Все эти газовые выбросы в атмосферу нарушают тепловой режим поверхности земли, что имеет определенные планетарные экологические последствия. Повышенное содержание в воздухе вредных веществ оказывает негативное влияние на здоровье людей.

Серьезные последствия могут принести побочные процессы, не связанные напрямую с вулканической деятельностью: обвалы, обломочные лавины. Горячая пирокластика, осаждаясь на ледниках и снежниках, вызывает их бурное таяние и образование горячих и холодных лахаров. Эти грязевые потоки, перемещаясь со скоростью 20–50 км/ч, увлекают за собой огромные глыбы и уничтожают все на своем пути. Извержение вулкана Рулс в Колумбии в 1985 г. и последовавший за ним сель погубили 24 тыс. жителей в городе, расположенном на его склоне. Гибель людей, их заболевания связаны не только с механическими воздействиями лахаров, палящих туч, тефры, пепла, но и с химическими ожогами легких, и с повреждениями слизистой оболочки. За последние 500 лет вследствие извержений погибло около 200 тыс. человек и причинен большой материальный ущерб.

По оценкам А. Стенченко, в вулканической деятельности имеются и некоторые благоприятные стороны для жизнедеятельности человека. В частности, термальные воды характеризуются высокими бальнеологическими свойствами, дают тепло, которое можно использовать для сельскохозяйственных, бытовых и промышленных целей. Районы современного вулканизма отличаются необычайным гигантизмом в растительном мире, связанным с высокой гидрофильностью почв, их высокими питательными свойствами и благоприятным фильтрационным режимом. Некоторые виды трав растут с быстротой 10 см/сут, обильная кормовая база способствует повышению численности животных и их выживаемости, поэтому население вулканических областей растет и старается расселиться ближе к вулканам.

Извержения вулканов по времени действия могут быть быстрыми, импульсивными, продолжительностью до нескольких дней, а могут, эпизодически повторяясь, продолжаться в течение достаточно длительного времени. При этом характер воздействия на окружающую среду может быть близким, но экологические последствия, размер материального ущерба будут зависеть от того, на каком уровне они проявляются: региональном или локальном. При региональных масштабах воздействия особенно остро встают вопросы прогноза извержения и принятия действенных мер по предупреждению и спасению людей и материальных ценностей [81, 136].

Оползни – скользящее смещение горных пород на неустойчивых склонах под действием силы тяжести при участии поверхностных или подземных вод.

Оползни широко развиты на берегах рек, морей и озер в платформенных областях (в том числе на Русской плите), где при субгоризонтальном залегании пород имеются выдержанные горизонты глинистых отложений, обуславлива-

ющие образование оползней выдавливания (детрузивных), которые отличаются большими объемами, блоковым строением и быстрыми подвижками. Повсеместно в горно-складчатых областях (Кордильеры, Гималаи, Альпы, Кавказ, Забайкалье и т.д.) широко развиты оползни скольжения (консеквентные) блокового строения, смещение которых происходит по контакту слоев или по каким-либо ослабленным зонам, часто с большой скоростью. Встречаются они и на платформах. Большое распространение получили вязкопластичные (деляпсивные) оползни водонасыщенных обломочно-глинистых масс, включающие оползни-потоки (южный берег Крыма), оползни вязкого разжижения лессовых пород (горные и предгорные районы Средней Азии) и малолитифицированных глин (побережье Норвегии, Кавказа).

Масштабность развития оползней и эколого-геологические последствия их воздействия на окружающую среду определяются объемом перемещаемых грунтовых масс и скоростью смещения. Она особенно возрастает в условиях высокой энергии рельефа, крутых и высоких склонов в первую очередь там, где они субпараллельны крупным разломам.

В. С. Федоренко отмечает для Таджикистана, что при высоте склонов от 1000 м и больше и крутизне более 30° объемы оползней и оползней-обвалов достигают десятков и первых сотен миллионов кубических метров, при меньшей высоте – не превышают 20 млн м³. Крупнейшие оползни, часто с катастрофическими последствиями, возникают в тех случаях, когда мощная толща прочных пород залегает на слаболитифицированных или плывунных породах, в которых возникают явления ползучести, выдавливания и выплывания.

На побережье морей оползневые процессы активизируются в связи со штормами. Многие грандиозные оползни спровоцированы землетрясениями. Резкой активизации оползней способствует обильное увлажнение пород, особенно рыхлых глинистых и лессовых, в результате затяжных дождей, ливней, снеготаяния, интенсивных поливов.

При этом образуются мощные оползни-потоки с большой скоростью смещения, часто приводящие к катастрофическим последствиям. В 1994 г. на юге Киргизии в Ош-Джалал – Абадских областях после обильных снегопадов (превысивших 2–3 годовые нормы) сошли в лессовых породах оползни-потоки объемом от 500 м³ до 1,5 млн м³, в результате чего погибло 115 человек. Определенную подготовительную работу совершили сильные землетрясения, которые были в этом районе в 1992–1993 гг.

Эколого-геологические последствия оползневых процессов связаны или с погребением под грунтовой массой людей, животных, инженерных сооруже-

ний, или нарушением ландшафта и деформацией сооружений. В ряде традиционно оползневых районов (Молдова, побережье Черного моря и др.) оползни существенно снижают качество геологического пространства или сокращают его ресурс.

Оползни не только угрожают всему живому, приводят к гибели людей и домашнего скота, но и вызывают дискомфорт в проживании, что связано с деформациями и разрушением жилых домов, коммуникаций, с нарушением структуры сельскохозяйственных земель и лесных массивов.

Оползни могут быть отнесены к катастрофическим процессам, поскольку в случае короткого этапа подготовки смещения они образуются внезапно, с большой скоростью смещения (до 1 м/мин) и представляют прямую угрозу жизни человека. Хотя при длительном периоде подготовки смещения, когда развитие процесса оползания идет медленно и неравномерно, оно обычно не является неожиданным и не представляет непосредственной опасности для человека, но и в этом случае может привести к нарушению природной среды и к значительному материальному ущербу.

Сели. Это временные горные русловые потоки, характеризующиеся высоким содержанием твердого материала (не менее 100–150 кг на 1 м³) и резким подъемом уровня. Отличаются внезапным возникновением и быстрым движением. Сели обладают высокими эродирующими и ударно-разрушительными свойствами, обусловленными большой насыщенностью твердой фазой, значительной крутизной переднего фронта селя, лавинным характером движения.

Селевые процессы распространены во всех горных районах земного шара. В России сели развиты на Кольском п-ове, на Урале, на севере Сибири, в Саянах и Прибайкалье, на Камчатке, широко развиты в Закавказье и на Северном Кавказе, в горных и предгорных районах Средней Азии и восточного Казахстана. Регулярно селевой опасности подвергается десятки городов, в том числе крупные города – Алма-Ата, Ереван, Фрунзе, Душанбе, Тбилиси.

Экологические последствия действия селя зависят от его мощности, которая определяется суммарным объемом вынесенного твердого материала. При объеме 20–100 тыс. м³ сель считается средней мощности, 100–900 тыс. м³ – значительной мощности и более 1 млн м³ – катастрофической мощности. Масштабность развития селей возрастает при большом количестве рыхлообломочного материала на склонах; при увлажнении его за счет снежников или за счет прорыва озер или водоемов; при соответствующем строении русловой сети селевого бассейна, обеспечивающего концентрацию больших расходов; при отсутствии на склонах леса и травяного покрова.

Катастрофические сели и сели значительной мощности представляют серьезную угрозу для населения и часто приводят к человеческим жертвам. В Японии в июле 1938 г. сель на г. Кобе, вызванный ливнями, привел к гибели 460 человек и разрушил свыше 100 000 домов; в сентябре 1945 г. в г. Кура (Япония), расположенном в узкой долине, в результате мощнейшего селя, вызванного ливневыми дождями, при прохождении тайфуна «Макурадзаки» погибли 1154 человека. В 1970 г. в Перу под грязекаменной массой селя был погребен город Юнгай с 20 000 жителей.

Огромный вред сели наносят железным и автомобильным дорогам, пересекающим селевые бассейны, повреждают и разрушают опоры и пролетные строения. Вынесенный селом материал заваливает дорожное полотно, забивает входы в тоннели, отверстия мостов и труб, надолго выводя их из строя. Сели заносят ирригационные каналы, разрушают и повреждают горные электростанции и водозаборы, линии связи и газопроводы, альпинистские и туристические лагеря, т.е. приводят к дискомфорту проживания людей и большим материальным затратам.

Сели относятся к быстродействующим (катастрофическим) процессам, которые внезапно возникают и быстро проходят. Продолжительность селя – от десятков минут до нескольких часов. Обычно сель проходит за 1–3 ч волнами по 10–30 мин. Действие конкретного селя достаточно локально, ограничено селевым бассейном, твердая составляющая разгружается в низовьях селевого русла, где уменьшаются уклоны и скорость потока.

Лавины – внезапное обрушение больших масс снега, падающих или скользящих вниз с крутых склонов. Воздействие лавины на человека, биоту и хозяйственные объекты определяется ее потенциальной энергией, зависящей от высоты падения и объема снежной массы. Обрушение, или сход, лавин связано с уменьшением внутреннего сцепления в снежном покрове на горных склонах или сцепления с подстилающей поверхностью. Происходит это, прежде всего, вследствие быстрого прироста высоты снежного покрова до величины, превышающей критическую (разовое выпадение до 70 мм осадков), или за счет температурного или ветрового разрыхления снега. Разница температур нижнего и верхнего слоев снега вызывает миграцию водяного пара в снежной толще, перекристаллизацию части снега и постепенное уменьшение плотности нижнего слоя в 2–3 раза и больше до достижения критической величины. Аналогичные процессы могут быть обусловлены перепадом влажности воздуха в толще снега и над ним (при сухих ветрах). Увеличение влажности снежного покрова от 0 до 20 % при таянии или выпадении дождя уменьшает величину сцепления при-

мерно в пять раз. Разрушительная способность лавины связана с большим давлением, которое она оказывает на встречающиеся на пути препятствия. Разрушительные последствия от прохождения лавины характеризуются тем, что при давлении 10^4 Па –разрушаются деревянные и мелкие каменные постройки, при давлении 10×10^4 Па – вырываются с корнями взрослые деревья, при давлении 100×10^4 Па – повреждаются или разрушаются даже бетонные здания. Чем больше объем лавины, тем тяжелее могут быть последствия. Если лавина небольшая, объемом $10\text{--}100 \text{ м}^3$, то она может сломать ветки деревьев, выдавить окна, может ранить, засыпать и убить человека, большая лавина объемом от 100 тыс. до 1 млн м^3 валит лес, разрушает каменные сооружения и металлические конструкции. Лавинная опасность связана в большей степени с высокими склонами средней крутизны, с мощностью снега более 30 см, а в малоснежные зимы – со склонами СВ-С-СЗ экспозиции.

Сходы лавин, приводящие к гибели людей или к значительным экологическим последствиям, происходят в мире в среднем не реже одного раза в год, со средним интервалом в каждом горном районе не более 20 лет. Они могут быть следствием или недостаточной изученности факторов лавинной опасности, или осознанного принятия риска, когда стоимость противолавинных сооружений оказывается больше, чем потери от лавин. Особенно опасно внезапное пробуждение редко действующих лавинных очагов, где следы лавин на местности уже исчезли.

Причиной возникновения лавин часто являются экстремально длительные и обильные снегопады или разовое выпадение в сутки до 50 см снега в холодных районах и до 100 см в теплых. В районах с морским климатом, таких как Скандинавия, Камчатка, Сахалин, лавинные бедствия связаны с приходом глубоких циклонов.

Обвалы – отделение массы горных пород на крутом склоне. Под обвалом понимается обрушение отдельных глыб, блоков и крупных объемов горных пород с крутых и отвесных склонов, преодолевающих свой путь до места падения по воздуху (это чаще всего вывалы) или путем скатывания по склону, опрокидывания и раскалывания (собственно обвалы). Обвалы образуются при потере устойчивости горных пород, преимущественно скальных и полускальных, под действием силы тяжести, гидростатического давления воды или различных сотрясаний. Подготавливаются обвалы часто длительным воздействием процессов выветривания. Эколого-геологические последствия обвалов связаны с ударной силой отдельных глыб и крупных блоков пород и с образованием завалов.

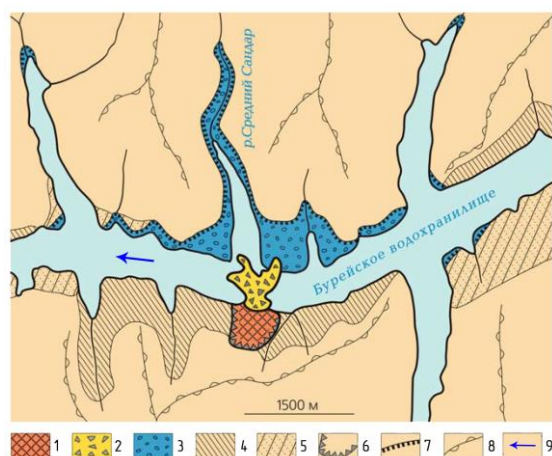
Обвалы распространены преимущественно в горных областях, прежде всего альпийской складчатости, таких как Крым, Кавказ, горы Средней Азии, Сибири, Дальнего Востока и т.п. Мелкие обвалы происходят и на равнинных территориях на крутых подмываемых берегах в речных долинах. Вероятность возникновения особенно крупных обвалов возрастает на территориях с глубокорасчлененным рельефом, с увеличением высоты и крутизны склонов, с нарушенностью пород трещинами средней густоты, особенно наклоненными к основанию склонов или откосов. Созданию крупных и грандиозных обвалов способствуют сильные землетрясения. Разрушительная сила обрушившихся пород возрастает с увеличением высоты падения, поскольку от этого зависят скорость падения и сила удара.

Обвалы крупного масштаба могут привести к существенному изменению ландшафта. Так, в результате Гоби-Алтайского землетрясения 4 декабря 1957 г. силой в эпицентре 12 баллов с г. Хуреньонь по системе широтных трещин обрушилась масса горных пород объемом около 200 млн м³. Обвал срезал почти половину горы, образовав вертикальный обрыв высотой около 300 м.

В результате схода ледника Колка 20 сентября 2002 г. в Кармадонском ущелье в Северной Осетии произошла катастрофа, в результате которой погибли и пропали без вести 125 человек, в их числе съёмочная группа фильма «Связной». Исследователями этой катастрофы приводятся разные характеристики этого гигантского обвала [12]. Объём его составил около 60 млн м³; общий объём пришедшего в движение материала составил 140 млн м³ (из них до 70 млн м³ льда из ледника Колка и до 70 млн м³ обвалившегося каменного материала и льда с учётом обвалов, происшедших ранее); скорость движения каменно-ледового материала в зоне транзита лавинообразного потока достигала 100–115 м/с; объём завального тела у Кармадонских ворот достигал 110–115 млн м³, максимальное превышение его поверхности над погребённым тальвегом р. Геналдон достигало 167 м; высота границы зоны воздействия гляциального селевого потока изменялась от 60–80 м на входе в каньон Скалистого хребта до 25–30 м в 1,5 км ниже устья ручья Скаттыкан; максимальная скорость движения гляциального селя достигала 100–120 км/ч. Как отмечают очевидцы события, ледово-грязе-каменный поток 20.09.2002 г., стартовав в 20 часов 8 минут, стремительно продвинулся почти на 20 км по долине реки Геналдон со скоростью 150–200 км/час, разрушив строения, базы отдыха, линии электропередач. В результате подпруживания реки Геналдон и её притоков образовалось несколько запрудных озёр. Анализ скоростей движения и характера разрушения бортов ущелья позволил специалистам сделать вывод, что по долине мчал-

ся со скоростью около 200 км/ч вращающийся вал из глыб льда и осколков горных пород высотой до 250 м. Общая протяжённость пути схода ледового обвала и гляциального селя составила свыше 30 км. В нижней части долины высота ледяной стены превысила 120 м. Существует несколько версий о причинах этой гляциальной катастрофы в долине Геналдона (основные – сейсмическая, вулканическая и метеорологическая), а также различные факторы, обуславливающие их. Как отмечает И. М. Васьков (2016), основной причиной, приводящей к обрушению склонов с образованием катастрофических обвалов разных типов, являются современные тектонические движения отдельных блоков пород по надвигам и пологим всбросам [12].

Крупный обвал грунтовых масс произошел в декабре 2018 г. (с 09.12.2018 г. по 12.12.2018 г.) на р. Бурея в Хабаровском крае, вызвав подпруживание Бурейского водохранилища (формирование грунтовой плотины) в 73 км ниже пос. Чекунда и создав опасность для жителей близлежащих населённых пунктов на р. Бурея и для Бурейской ГЭС. Серьезными усилиями МЧС РФ удалось предотвратить катастрофические последствия. Произошло катастрофическое смещение грунтовых масс (КСГМ) с левого борта долины р. Бурея против устья её правого притока – р. Сред. Сандар (правый приток р. Бурея) (рис. 3.13).



Картограмма катастрофического смещения грунтовых масс и его последствий.

Условные обозначения: 1 – стенка срыва и 6 – её верхняя граница; 2 – рыхлые образования (обваловые и (подчинённо) оползневые); 3 – ареал уничтоженного растительного покрова и 7 – его граница; 4 – крутые и 5 – пологие склоны; 8 – округловершинные гребни; 9 – направление течения р. Бурея (по А. Н. Махинову, 2018 с изменениями и дополнениями)



Стенка срыва пород (на заднем плане сверху), рыхлые обваловые образования (лопастевидной формы в плане поперёк вхв) с небольшим блоком оползневых, маркирующихся «пьяным лесом» ближе к стенке срыва (фото А. Н. Махинова)

Рис. 3.13. Обвал на р. Бурея в декабре 2018 г. [119]

Растительный покров на правом коренном склоне долины р. Буря был уничтожен на расстоянии 2,4 км вниз и на 3,15 км вверх по её долине от устья рч. Сред. Сандар (на максимальную ширину 0,65 км) и на 4,35 км вверх по долине рч. Сред. Сандар (на максимальную ширину 0,15 км по обоим бортам долины) [79]. Как определяет Е. Ю. Ликутов (2021), генезис этой геоморфосистемы сложный – оползнево-осыпно-сейсмогенно-ударно-обвальный, в основных своих чертах – сейсмогенно-ударно-обвальный и возникшее рассматриваемое явление можно рассматривать как сейсмогенный обвал (сейсмообвал) [119].

На участках развития обвалов существует постоянная угроза для жизни и деятельности людей, для сохранности и нормального функционирования инженерных сооружений. Обвалы приносят большой материальный ущерб линейным сооружениям; прежде всего, представляют угрозу для эксплуатации автомобильных и железных дорог и для безопасности движения транспорта. Потери связаны с необходимостью расчистки завалов, восстановления дорожного полотна и разрушенных инженерных сооружений на дорогах, с перерывом движения транспорта. Вывалы даже из откосов, начиная с высоты 10–12 м, почти всегда вызывают повреждение и разрушение полотна дорог.

Обвалы на дорогах нередко сопровождаются человеческими жертвами. Катастрофические последствия бывают от обвалов, которые достигают дна долины, внедряются в озеро или другой большой водоем и становятся причиной образования гигантских волн.

Обвалы по времени образования относятся к быстродействующим катастрофическим процессам, всегда неожиданным, труднопредсказуемым, поэтому особенно опасным для человека. Каждый обвал в чистом виде происходит локально на конкретном участке склона, и задача – избегать таких участков при хозяйственном использовании территории.

Провалы. Они связаны с обрушением кровли над карстовыми пещерами, суффозионными пустотами в лессах или над горными выработками. По характеру возникновения и последствиям провалы можно отнести к катастрофическим процессам, поскольку подготовительная и начальная стадии их развития малозаметны, а обрушение кровли происходит внезапно, главным образом под действием гравитационных сил.

Подавляющая часть провалов пространственно связана с территориями развития закарстованных пород. Особенно широко распространены провальные явления в Пермском крае, Нижегородской области, Башкортостане, Прикаспии,

Донбассе, ряде районов Восточной Сибири и Средней Азии. Размеры провалов обусловлены прежде всего величиной полости, глубиной ее залегания, составом и мощностью покровных отложений.

Карст в карбонатных породах не часто приводит к образованию провалов, но они могут достигать значительных размеров. В Средней Азии в пределах плато Устюрт карстовые провалы, связанные с выщелачиванием слабодислоцированных мергелей и известняков неогена, имеют характер колодцев диаметром 20–30 м, глубиной 20–40 м (иногда до 100 м). Провалы, связанные с меловым карстом, встречаются редко и обычно невелики по размеру. Провалы – очень частое явление в области развития сульфатного и соляного карста.

В районах развития гипсового карста провалы чаще всего характеризуются диаметром 10–12 м, глубиной в несколько метров, в единичных случаях диаметр достигает 60 м, глубина – 30 м. К числу наиболее крупных относятся провалы, произошедшие в 1939 и в 1957 гг. Первый – Анташский провал в районе Альметьевска в Татарстане глубиной 52 м, второй – вблизи д. Венец Нижегородской области диаметром 90 м и глубиной 25–27 м. На левобережье р. Белой (пос. Карламан) на площади 100 км² зарегистрировано 19 провалов диаметром до 20 м. Среднегодовое количество провалов в районах развития гипсового карста составляет от до 1 на 1 км².

Еще более опасен этот процесс в районах развития соляного карста в связи с большой скоростью растворения солей. Для Илецкого соляного купола приводятся данные об образовании ежегодно на площади 5 км² нескольких новых провалов шириной до 4 м и глубиной до 10 м и более.

Резкую активизацию провальных процессов вызывает строительство гражданских и промышленных сооружений, железных дорог, особенно разработка калийных и других месторождений полезных ископаемых.

Существует очень серьезная проблема провалов для Соликамско-Березниковского промузла на подработанных территориях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей как для калийных рудников, так и, собственно, для Березников и Соликамска.

Провалы представляют непосредственную угрозу для инженерных сооружений. В Кунгуре, Чусовом, Уфе, Дзержинске и других городах известны случаи серьезных деформаций, частичных разрушений крупных сооружений и даже провалов отдельных зданий. На трассе железной дороги в районе Уфы под

путями произошли десятки больших и множество мелких провалов, вызвавших деформацию дорожного полотна.

В результате провалов часто теряются ценные сельскохозяйственные земли, затрудняется их распашка и эффективное использование сельскохозяйственных машин, известны даже случаи провала последних и гибель людей. Провалы в закарстованных районах изменяют ландшафтные условия. Частично поглощая дождевые воды и воды весеннего снеготаяния, провалы ограничивают поверхностный сток. При заполнении водой в провальных воронках образуются озера [122, 173].

Аномальные газовыделения из субмаринных мерзлых толщ. Это своеобразное явление в арктической зоне, связанное с наличием мерзлых пород под дном морей, может осложнить все виды инженерных работ на шельфе и привести к чрезвычайным экологическим ситуациям. Все это обусловлено нахождением метана и других газов в форме газогидратов в песчаных линзах и прослоях, которые (газовые гидраты) при вскрытии быстро разлагаются на газ и воду, что сопровождается неожиданными выбросами газа со всеми вытекающими отсюда экологическими последствиями, вплоть до человеческих жертв. Исходя из этого, данный процесс и явление можно классифицировать как катастрофические, хотя для такой их реализации необходимо антропогенное воздействие (например, бурение скважин) для резкого снятия давления в песчаных линзах и создание условий для разложения газового гидрата.

3.3.3.2. Опасные процессы

Принципиально важным признаком выделения группы опасных процессов является положение о том, что они оказывают непосредственное воздействие (механическое, химическое и др.) на абиотическую составляющую экосистемы и только опосредованно, через ее изменение или разрушение, на флору, живые организмы и человека. Так, опосредованное воздействие может приводить к необходимости отнесения крупных территорий к зоне экологического бедствия или катастрофы, обусловить многочисленные жертвы, включая человеческие, в результате голода, инфекционных заболеваний, разрушения или захоронения стационарных поселений. Опасные процессы приводят к бедствиям *регионального, планетарного, редко локального масштабов*. Именно с этой

группой процессов связаны потери качества и самого ресурса геологического пространства в региональных масштабах.

Нередко такие процессы называют «ползучими катастрофами». Яркими представителями таких процессов являются засухи (чисто природное явление) и ветровая эрозия (чаще антропогенно-природное явление). Кроме названных, в составе опасных процессов и явлений следует рассматривать карст и термокарст, овражную эрозию, плоскостную эрозию, осолонение воды, заиление территорий при наводнениях и некоторые другие процессы.

Карстовый процесс

Карст – это процесс химического и отчасти механического воздействия подземных и поверхностных внеусловных вод на растворимые, проницаемые горные породы (карбонаты, гипс, ангидрит, соли и т.д.). В результате возникают поверхностные и подземные скульптурные, а при выпадении из раствора, обрушении – аккумулятивные формы. Это собственно геохимический процесс взаимодействия относительно хорошо растворимых пород с природными водами, проявляющийся в разрушении горных пород, главным образом растворении (в меньшей степени – эрозии, выветривании) и переносе продуктов разрушения (в растворенном состоянии, а также механическим путём), а также отложении осадков (как хемогенных, так и обломочных). В результате растворения и выщелачивания горных пород движущимися подземными водами образуются подземные полости в виде пустот, каналов, галерей, пещер и др. Карстовые процессы часто сопровождаются провальными явлениями (см. выше – «провалы»).

Карст широко распространен в районах, где развиты толщи растворимых карбонатных и сульфатных пород, а также каменных и калийных солей, и прослеживается до глубин 300–400 м. В пределах Восточно-Европейской платформы он развит на Волго-Уральской антеклизе, на периферии Московской синеклизы, в районе Жигулевского поднятия, на южном склоне Балтийского щита; распространен на Урале, Кавказе, в Карпатах, Крыму. На Сибирской платформе проявляется на северном склоне Алданского щита, Тунгусской и Вилуйской синеклизах, Ангара-Ленском прогибе. Широко представлен в Казахстане и Средней Азии (рис. 3.14).

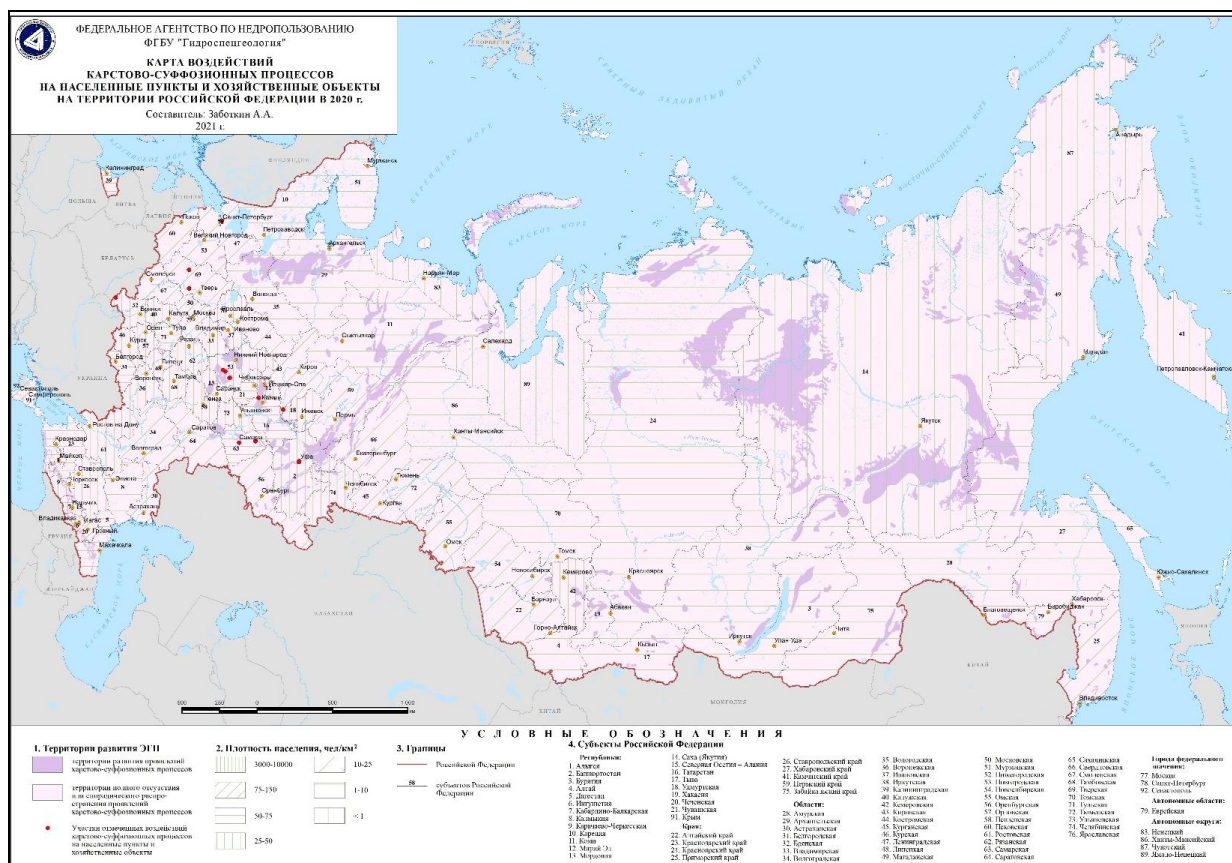


Рис. 3.14. Карта воздействий карстово-суффизийных процессов на территории РФ

Скорость и масштаб развития карстовых процессов определяются прежде всего степенью растворимости пород, возрастая от карбонатных к сульфатным породам и затем к легкорастворимым солям; они увеличиваются с ростом агрессивности вод по отношению к карстующимся породам.

Большое значение имеет дислоцированность пород и нарушенность их трещиноватостью, что делает породы более водопроницаемыми и облегчает вынос продуктов растворения движущимся водным потоком, увеличение скоростей которого повышает интенсивность водообмена. Активизация карстовых процессов связана с увеличением скоростей движения подземных вод, с условиями водообмена, что обусловило приуроченность карстовых процессов чаще всего к присклоновым частям долин и уменьшение закарстованности массивов пород с глубиной и в сторону водораздела.

Карстовые процессы по своим эколого-геологическим последствиям относятся к разряду *опасных*, но не катастрофических. Они могут существенно изменить ландшафт и тем самым условия жизнедеятельности биоты, в том числе человека. В тех районах, где растворимые породы залегают на поверхности или перекрыты небольшим чехлом рыхлых отложений, при высокой их закарстованности создается своеобразный карстовый рельеф с формами в виде воро-

нок, оврагов слепых балок, замкнутых котловин размером до десятков и сотен квадратных километров. Их появление оказывает влияние и на другие компоненты ландшафта – изменяются характер растительности, типы почв, гидрография. Слияние воронок приводит к образованию котловин, в которых формируются многочисленные связанные с карстом озера. Реки на закарстованных участках уменьшают свой расход и могут полностью исчезать в залегающих под руслом закарстованных породах. Например, в бассейне р. Белой некоторые ее притоки остаются сухими большую часть года, так как вода инфильтруется в известняки.

При залегании растворимых пород на глубине среди нерастворимых образуется подземный карст в виде пустот, каналов, пещер и т.п. В результате изменяются структура и строение карстующихся пород, режим поверхностных и подземных вод, формируется особый тип подземных вод (карстовых), с которыми связано образование мощных, часто соленых, хлоридно-сульфатных источников с дебитом, достигающим десятков кубических метров в секунду. Поэтому роль карстовых процессов в формировании химического состава вод, питающих реки, озера, очень велика. Существенно возрастает минерализация и жесткость речных вод за счет выноса карстовыми водами растворимых солей, меняется их температурный режим. Такие изменения особенно ощутимы в районах развития соляного карста. В качестве примера можно привести р. Сылву (район Кунгура), воды которой во время паводка поступают в закарстованную гипсовую толщу, а при оттоке минерализация их достигает 2,5 г/л.

Карстовые процессы приносят значительный косвенный материальный ущерб на стадии как проектирования, так и эксплуатации сооружений. Это связано с тем, что закарстованные породы не всегда являются надежным основанием и средой для размещения инженерных сооружений – могут быть деформации и провалы зданий, большие притоки воды в подземные выработки и котлованы, достигающие нескольких тысяч кубометров в час. Прорывы карстовых вод в шахты иногда приводят к человеческим жертвам.

В труднорастворимых карбонатных породах карстовые процессы развиваются медленно в течение длительного геологического времени, в среднерастворимых породах (сульфатный карст) скорость этих процессов достаточно большая и соизмерима по времени со сроками строительства и эксплуатации сооружений. В легкорастворимых породах (соляной карст) эти процессы развиваются еще быстрее. По площади развития карстовые процессы относятся к *ре-*

гиональным, охватывающим большие площади в пределах территории развития растворимых пород [122, 173].

Овражная эрозия. Наиболее широко она распространена в южной части лесной зоны, в лесостепной и степной зонах в пределах Среднерусской, Волыно-Подольской, Приволжской, Верхне-Камской, Приазовской и других возвышенностях, где плотность оврагов изменяется от 25 до 100 на 100 км² с превышением на отдельных участках этой величины. Скорость развития оврагов не превышает 1–2 м/год. Развитию овражной эрозии прежде всего способствует широкое распространение покровных отложений, представленных пылеватыми супесями и суглинками, реже песками. Большое значение имеет характер рельефа, благоприятна для роста оврагов сильная его расчлененность, большая площадь водосбора и значительная его высота относительно местных базисов эрозии. При крутизне склонов от 4 до 8° плоскостная и линейная эрозия проявляется интенсивно и повсеместно, особенно при слабой их задернованности. Очень важен режим снеготаяния, но наибольшую опасность представляют ливни, ведущие к образованию бурных потоков с большими скоростями. Способствуют образованию оврагов такие техногенные факторы, как распашка земель, вырубка леса, подрезка склонов, массовый выпас скота.

Овражная эрозия оказывает большое влияние на изменение окружающей среды. Расчленяя территорию, овраги делают ее неудобной для хозяйственной деятельности, строительства и сельскохозяйственных работ. Они разрушают дороги и увеличивают их протяженность за счет объездов, ограничивают машинную обработку земли. Выносы рыхлого материала в результате эрозии создают определенные неудобства для хозяйственной деятельности населения, перекрывая луга, огороды, сады, перегораживая дороги, каналы, заиливая водохранилища и пруды. Овраги изменяют ландшафтные условия, вскрывают и дренируют водоносные горизонты и тем самым способствуют их истощению. В степях и лесостепях овраги нарушают влажностный режим зоны аэрации, иссушают почвы и снижают их плодородие. Увеличивая уклоны поверхности, овраги способствуют интенсивному смыву почвенного покрова с пашен, т.е. эрозии почв.

Однако наиболее значимым экологическим последствием проявления овражной эрозии является сокращение площади сельскохозяйственных угодий, особенно пашен и садов, и снижение плодородия почв в зоне нарушения их влажностного режима. Для некоторых районов развития черноземов опосредованное воздействие процесса линейной эрозии на человека выходит за рамки

дискомфорта проживания и может квалифицироваться как *кризисное* и требующее безотлагательных масштабных природоохранных мероприятий. Овражная эрозия – типичный процесс, приводящий к локальной потере ресурса геологического пространства со всеми вытекающими отсюда экологическими последствиями.

Эрозионные процессы по времени действия относятся к кратковременным эпизодическим, действующим в течение сезона. В пространстве эти процессы проявляются как на региональном (в пределах определенной почвенно-растительной зоны), так и на локальном (конкретный участок склона) уровнях. С масштабом развития эрозионных процессов связана и значимость последствий их влияния на природную среду, на изменение экологической ситуации. В зависимости от этого они могут относиться к опасным или неблагоприятным процессам [122, 173].

3.3.3.3. Неблагоприятные процессы

Эти процессы включают обширную группу природных и техногенных геологических процессов, не представляющих непосредственной угрозы для жизни человека и животных и не приводящих к разрушению (но вызывающих изменения) абиотической составляющей экосистем. Они негативно воздействуют на условия жизнедеятельности человека через деформацию и осложнение эксплуатации инженерных сооружений. Это процессы длительного действия с продолжительным периодом подготовки, как правило, с отдаленными и опосредованными экологическими последствиями как для человека, так и в какой-то степени абиотической составляющей экосистем. Они не приводят к кардинальному изменению ресурса геологического пространства, как это отмечалось для опасных процессов, но, несомненно, оказывают локальное влияние на качество этого ресурса. Поэтому при оценке уровня экологического воздействия или состояния экосистемы они не могут квалифицироваться как *зоны кризиса* или бедствия, а будут соответствовать *зонам нормы или риска*. Неблагоприятные процессы достаточно условно (по возможной площади поражения) расположены в такой ряд: заболачивание, термокарст, боковая и донная эрозия, суффозия, пучение. Условность этого ряда связана с тем, что для каждого конкретного региона приоритетность процессов с точки зрения изменения условий жизнедеятельности, прежде всего человека, может быть совсем иная. Но, имея в виду их воздействие на окружающую среду как среду обитания человека и

биоты в целом, предлагается именно такая последовательность рассмотрения экологических последствий негативных природных процессов.

Суффозия. Представляет собой в основном механический вынос частиц грунта из зон концентрированного движения подземных вод с образование отрицательных форм рельефа: просадки, воронки, ложбинки, «цирки» и т.д. Чаще всего эти процессы приурочены к тонко- и мелкозернистым пескам и особенно к лессам, обладающим низкой сопротивляемостью эрозионному воздействию подземных вод. Развитие суффозии связано с интенсивной инфильтрацией поверхностных вод или действием больших скоростей движения фильтрационного потока в условиях расчлененного рельефа, обычно вдоль террасовых уступов к реке, по бортам оврагов. Это приводит к образованию каналов, полостей и поверхностных провальных воронок.

Суффозионные процессы развиты в Поволжье, Приуралье, Средней Сибири в Красноярском крае, Средней Азии. В дельтах Амударьи и Сырдарьи поверхностные провальные воронки в лессовых породах имеют размеры от 0,3х1 м (глубина 0,1–0,15 м) до 4х6 м (глубина 2 м); размер пещер достигает 6х28 м (глубина 3 м). Иногда провальные воронки смыкаются и образуются «провальные овраги». Близко расположенные воронки соединяются горизонтальными ходами с образованием полей. Площадь таких полей на восточном побережье Сарыкамышского озера достигает десятков квадратных километров, а коэффициент пораженности изменяется от 0,18 до 0,60. В долинах рек Гульбиота и Иляк в лессовых породах среднечетвертичного возраста протяженность крупных пустот достигает 400 м. Глубина пораженности суффозионными процессами – до 30 м.

Суффозия изменяет водопроницаемость пород, поэтому может вызвать большие притоки воды в котлованы, подземные выработки, может привести к потерям воды из ирригационных сооружений и водохранилищ, создать критические ситуации, связанные с устойчивостью плотин в боковых примыканиях и в основании. Большой ущерб от суффозии может быть связан со значительными неравномерными осадками зданий и сооружений, их деформацией и даже разрушением при образовании подземных пустот.

Процессы суффозии развиваются медленно в течение нескольких или десятков лет. Они чаще имеют локальное, реже – региональное развитие.

Боковая и донная эрозия. Эти процессы в той или иной степени наблюдаются во всех долинах рек и оказывают влияние на природную среду опосредованно, через изменение ландшафта в пределах речных долин, и прямое воз-

действие – разрушением пойменно-террасовых комплексов. В зависимости от преобладания боковой или донной эрозии изменяется строение речных долин. Преобладание боковой эрозии приводит к меандрированию реки, появлению больших излучин. Долина характеризуется широкими террасами, заливными лугами на пойме, старицами и озерами со значительной мощностью аллювиальных отложений. Преобладание донной эрозии приводит к узкому, каньонообразному, характеру долины с крутыми склонами, с узкими останцами террас, с порогами и перекатами в русле, с водопадами, с небольшой мощностью аллювиальных отложений, обычно более грубого состава.

Разрушение берегов эрозионными процессами определяется составом и состоянием размываемых пород, экспозицией береговых склонов, конфигурацией русла реки и характером локальных (блоковых) неотектонических движений. Особенно интенсивно, иногда с высокой скоростью, разрушение берегов происходит в период половодий и паводков, когда скорость размыва местами достигает нескольких десятков метров за сезон.

На севере Русской равнины на некоторых участках крупных рек скорость размыва берегов достигает 10–40 м/год, в южной половине ее в долинах Волги, Днепра, Дона средние скорости размыва берегов составляют 12–20 м/год, на вогнутых малоустойчивых берегах – до 25 м/год. В долине р. Оби поймы, сложенные талыми песками и супесями, разрушаются со скоростью до 33 м/год, при глинистом составе отложений скорость размыва уменьшается до 7–10 м/год, а на отдельных участках – до 3 м/год. Скорость размыва первой террасы составляет для песков 20–24 м/год, а для переслаивания песков и суглинков – 5–15 м/год. Склоны более древних террас размываются со скоростью от 0,5 м до нескольких метров в год.

Большая скорость размыва террасовых комплексов, территории которых активно используются человеком, мешает нормальной жизни и приводит к значительному материальному ущербу. В зону разрушений попадают трассы шоссейных и железных дорог, линии связи и электропередач, газо- и нефтепроводы, промышленные сооружения и жилые дома, сельскохозяйственные угодья, сады и огороды.

Термоабразия – своеобразная разновидность абразионного процесса – разрушение морских берегов, сложенных мерзлыми, содержащими лед породами, под совместным воздействием механической и термической энергии морских или озерных вод. Средняя скорость отступания берега изменяется в широком диапазоне от 2 до 100 м/год. А при повышении уровня морей Лаптевых и

Восточно-Сибирского эти величины достигают 350 м/год и несколько больше. Это огромные, катастрофические скорости. Даже при скоростях смещения береговой бровки (50–100 м/год) построенные на значительном удалении от берега здания и сооружения (маяки, склады) через десяток лет попадают в зону опасности и требуют переноса. Это значительно усложняет решение целого ряда строительных задач, связанных с созданием, например, на побережье п-ова Ямал комплекса по хранению и транспортировке газа (морские порты, терминалы, трубопроводы и т.д.). Кроме того, с процессом термоабразии связано уничтожение небольших островов в Арктике, сложенных в подводной части сильнольдистыми породами. Термоабразия – быстротекущий процесс, опосредованно влияющий на комфортность проживания населения и непосредственно воздействующий на ряд островных континентальных экосистем вплоть до их полного разрушения и создания аквальных условий.

Ледники. Представляют собой естественную массу кристаллического льда и в меньшей степени – фирна со значительными размерами, расположенную главным образом на суше, находящуюся в движении и существующую длительное время. Материковые ледники подразделяются на горные, горнопокровные и покровные.

Для ледников нет однозначных оценок экологических последствий их развития и динамики. Наибольшую опасность представляют процессы динамической неустойчивости горных ледников, проявляющиеся в виде быстрых подвижек (пульсирующие ледники), которые создают угрозу для человека и объектов его жизнедеятельности, и ледовых обвалов. Выделяется три основных типа пульсирующих ледников России: горные ледники с выбросом льда в области убыли в долину (Кавказ, Памир); покровно-выводные ледники островов Арктики с выбросом льда в море и продуцированием айсбергов; ледники разных морфологических типов, пульсирующие за счет внешних воздействий, вулканической и сейсмической активности (Камчатка).

Экологическая оценка вековых материковых оледенений, имеющих место сейчас в Антарктиде, Гренландии, некоторых крупных островах Арктики, также двойка. С одной стороны, это крупнейший ресурс пресных вод в планетарном масштабе и регулятор уровня Мирового океана, с другой стороны, это основной фактор задержки влаги на материках и причина понижения уровня Мирового океана. Ими лимитирован ресурс геологического пространства такого крупного острова, как Гренландия, и даже целого континента Антарктиды, так как материковые оледенения представляют собой ледовые щиты и покровы

мощностью до 4 км, перекрывающие горные хребты, плато и равнины. По побережью океана с ними связаны протяженные зоны айсберговых шельфов.

Заболачивание. Этот процесс развивается в условиях влажного климата, когда количество выпадающих осадков превышает их испарение, равнинного рельефа или его пониженных элементов при близком к поверхности земли залегании подземных вод. Заболачивание может происходить и вследствие избыточного увлажнения отложений за счет периодического затапливания или подтапливания речными или морскими водами.

Развитие природно заболоченных земель и болот подчиняется климатической зональности. Они преобладают в тундре, в зоне лесов европейской части России составляют 40 %, в лесостепной зоне – менее 10 %. Заболочены большие пространства Мещерской, Молого-Шекснинской, Полесской, Причерноморской, Прикаспийской и других низменностей. Аналогичная картина наблюдается и в Сибири, где заболочена огромная территория Западно-Сибирской низменности. Заболочены поймы и приустьевые части в долинах крупных рек.

Процессы заболачивания существенно изменяют природную среду и условия жизнедеятельности человека. Происходит полная смена характера растительности, избыточное увлажнение ухудшает воздухообмен почвы и вредно отражается на растущей древесной, кустарниковой и травянистой растительности. Происходит постепенное угнетение и отмирание одних форм и развитие других, влаголюбивых травянистых растений (осока, камыш и др.) или угнетенной сосны и мхов. Заболачивание наносит ущерб лесному хозяйству, ухудшает водный режим почв и подпочвенных горизонтов сельскохозяйственных земель и препятствует получению высоких и устойчивых урожаев, другими словами, снижает качество природного ресурса.

Материальный ущерб от заболачивания связан и с дополнительными расходами на проведение осушительных мероприятий при подготовке территорий к строительству и защите уже построенных сооружений, поскольку избыточное увлажнение меняет физико-механические и фильтрационные свойства пород, снижает их устойчивость и несущую способность, ведет к затоплению подземных частей сооружений, при этом подземные воды могут проявлять агрессивные свойства.

Процесс заболачивания относится к длительно действующим, что предоставляет человеку возможность прервать его, а еще лучше – предотвратить, чтобы избежать негативных экологических последствий. Заболачивание может

происходить и локально – в небольших западинах и понижениях – и носить ярко выраженный *региональный характер*.

Ряд неблагоприятных природных процессов относится к геокриологическим (криогенными) процессам, распространенным преимущественно в области распространения многолетнемерзлых пород (рис. 3.15).

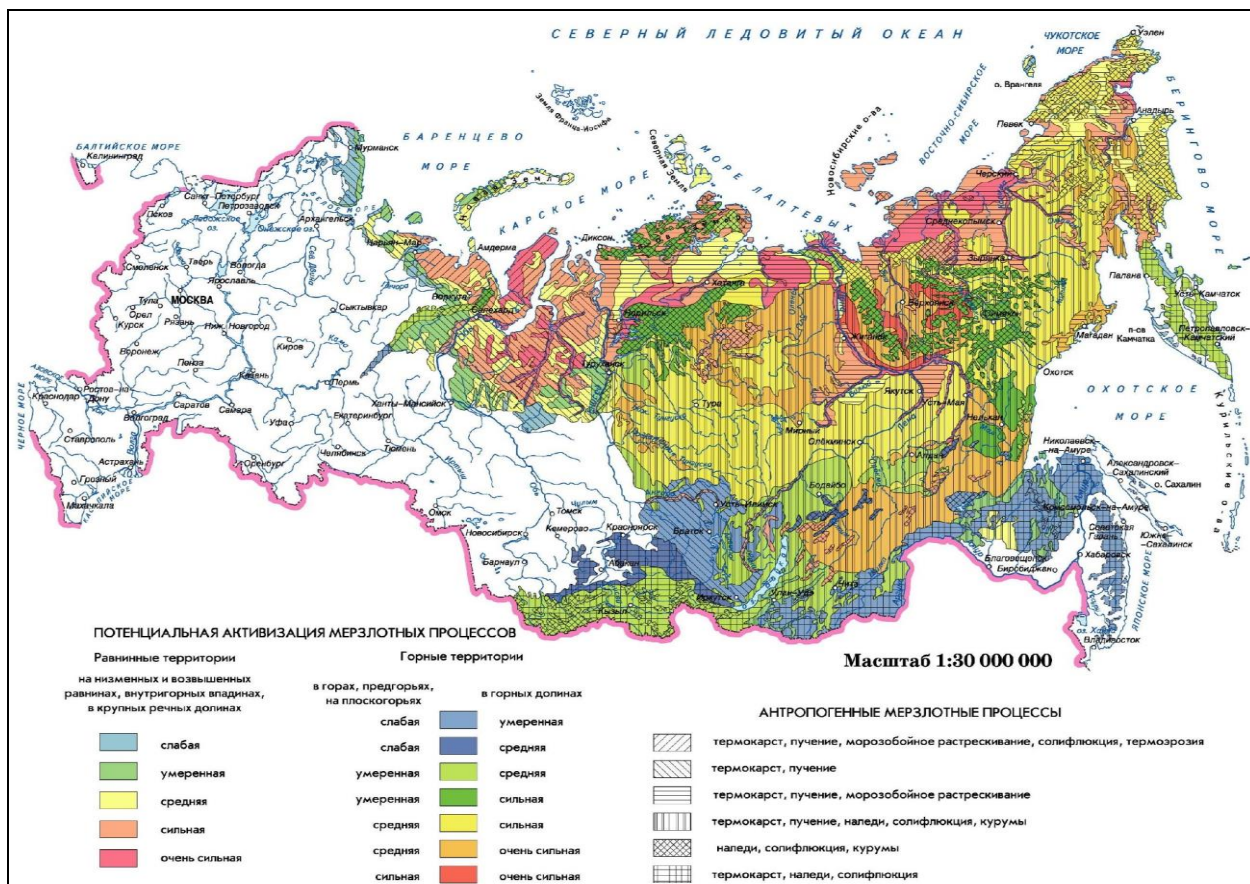


Рис. 3.15. Карта районирования территорий РФ по активизации мерзлотных процессов

Их особенностью является то, что они протекают в промерзающих, протаивающих и мерзлых породах при изменениях температуры и переходах ее через точку плавления льда.

Термокарст. Этот геологический криогенный процесс заключается в вытаивании подземных льдов, которое приводит к проседанию поверхности земли и появлению отрицательных форм рельефа, часто с образованием болот и озер. Особенно широко термокарст развит в области многолетнемерзлых пород в северных районах России на аккумулятивных равнинах аллювиального, озерно-эллювиального и морского генезиса, на поверхности речных террас.

Главное условие развития термокарста – наличие сильнольдистых многолетнемерзлых пород или мономинеральных залежей подземных льдов. Термокарст в крайне северных районах начинает развиваться в результате локального изменения природных условий при нарушении растительного покрова или се-

зонного скопления воды, ведущего к увеличению глубины сезонного протаивания. В южной части криолитозоны термокарст развивается в результате общей деградации мерзлоты. Степень пораженности термокарстом возрастает от древних поверхностей к более молодым в районах развития синкриогенных сильнольдистых пород, а при прочих равных условиях интенсивность проявления термокарста возрастает с уменьшением уклона поверхности.

Термокарст оказывает большое влияние на природную среду, формируя своеобразный тип термокарстового ландшафта. Его характер определяется прежде всего морфологией ледяных скоплений. На севере Западно-Сибирской плиты по шлировому льду и льду-цементу образуются округлые или овальные понижения размером от 10 до 400 м, глубиной 3–5 м. В сильнольдистых породах с повторно-жильными льдами в результате термокарста возникают узкие канавообразные понижения глубиной до 1,5 м с образованием в плане полигонов. В расширениях в местах пересечения канавок появляются термокарстовые озера. Рельеф приобретает сетчатый рисунок с озерами и западинами. Заозеренность – характерный признак термокарстового рельефа, она меньше на севере Западно-Сибирской плиты (2,5–10 %), в южных районах возрастает до 15 % и более. Часто вытаивание крупных скоплений залежей пластового льда приводит к образованию огромных озер, глубина которых достигает 50 м, а поперечные размеры до 20 км. Часто встречаются котловины спущенных термокарстовых озер – «хасыреев», диаметр которых достигает 2 км и более.

Широкое развитие термокарстовых озер на фоне общей заболоченности территории создает специфические экологические условия развития растений, последние в свою очередь влияют на условия тепло- и влагообмена, а также на температурный и влажностный режим мерзлых и талых горных пород, на глубины сезонного промерзания и оттаивания. На дне озер накапливаются характерные термокарстовые осадки, а под ними в результате их отепляющего влияния образуются сквозные и несквозные озерные талики.

Термокарст часто приводит к криогенной или посткриогенной инверсии рельефа, когда наиболее льдистые отложения или, наоборот, малольдистые, в зависимости от динамики развития термокарста и условий стока вод, оказываются как бы приподнятыми над местностью. Опосредованное воздействие термокарста на природную среду связано с провоцированием развития таких негативных процессов, как термоэрозия.

Развитие термокарста в зоне влияния инженерного сооружения может иметь для него катастрофические последствия. В целом масштаб развития тер-

мокарста по площади может иметь как региональный, так и локальный характер, а время проявления достаточно длительное.

Пучение. Этот процесс обусловлен способностью воды или рыхлых влажных отложений увеличивать свой объем при промерзании. Сезонное пучение может развиваться везде, где происходит промерзание пород; многолетнее приурочено к территории криолитозоны. Многолетний процесс пучения приводит к формированию специфических ландшафтов путем выпучивания каменного материала из элювиально-делювиальных отложений и образования «каменных россыпей», «каменных морей», а на пологих склонах – «каменных потоков» и т.д. Наложение на процесс выпучивания каменного материала морозобойного и диагенетического растрескивания приводит к образованию специфических структурных форм в виде «сортированных полигонов», где суглинистое ядро диаметром 0,5–0,8 м обложено бордюром из щебня шириной 0,2–0,4 м, «пятен-медальонов» и др.

Специфические мерзлотные формы микрорельефа формируются при многолетнем промерзании дисперсных отложений в виде бугров пучения. Вблизи южной границы области многолетнемерзлых пород европейского Севера России и Западной Сибири, а также в отдельных районах Средней и Восточной Сибири образуются миграционные бугры пучения, часто приуроченные к участкам развития торфяников. Они возникают в результате накопления сегрегационного льда вследствие миграции влаги под влиянием градиентов температуры и влажности обычно при новообразовании мерзлых толщ. Такие многолетние миграционные бугры пучения с поверхности сложены торфяниками, разбитыми трещинами или системой полигонально-жильных льдов, а в ядре – высокольдистыми (40–60 %) породами пылеватого супесчаного или суглинистого состава. Высота бугров пучения до 3 м, иногда 4–8 м, а размеры в основании от трех до нескольких десятков и даже сотен метров.

В Центральной Якутии, на арктических Приморских низменностях Северо-Востока России и Северной Америки многолетние бугры пучения, так называемые «булгуняхи», или «пинго», образуются путем передвижения воды под действием гидростатического давления, развивающегося в закрытых системах при их промерзании, чаще всего при промерзании таликов под термокарстовыми озерами. Ядро булгуняхов состоит из инъекционного льда, с поверхности они обычно разбиты системой радиальных и концентрических трещин. Размер булгуняхов зависит от количества воды в замкнутой системе, высота их может достигать 30–60 м, а размер в основании – до 200 м. Рост их продолжается в те-

чение длительного периода времени – от нескольких десятков до нескольких сотен лет.

Еще одной разновидностью бугров пучения являются гидролакколиты, образующиеся в местах разгрузки различных напорных вод, но они относятся к недолгоживущим образованиям, которые периодически разрушаются и возникают вновь.

Образование сезонных бугров пучения происходит вследствие промерзания пород сезонно-талого и сезонно-мерзлого слоев. Особенно широко они развиты в центральной и южной частях зоны практически сплошного развития многолетнемерзлых пород, где температура пород не ниже $-6-7^{\circ}\text{C}$. В буграх пучения отмечаются крупные линзы сегрегационного льда, размеры которых в диаметре изменяются от первых метров до 10–30 м в диаметре, а мощность не превышает 1,5 м. Высота сезонных бугров пучения колеблется от 10 см до 1,2 м, а ширина – от 1 до 6 м. С сезонными буграми пучения связано формирование бугристого микрорельефа.

Процессы пучения изменяют условия жизнедеятельности растительности, животных и человека, создают угрозу для инженерных сооружений. Они приводят к выпиранию столбов из земли и нарушению линий связи, свай в основании фундаментов строений и, соответственно, к их деформации. При этом следует учитывать, что особую опасность представляет не абсолютное значение деформаций пучения, а неравномерность пучения по площади. Значительный ущерб однолетние бугры пучения приносят дорогам, аэродромам. С многолетними буграми пучения связано активное развитие термокарстовых процессов. По времени действия процессы пучения относятся в основном к кратковременным (эпизодическим), которые в пространстве имеют локальное развитие.

Наледеобразование. Наледами принято называть ледяные тела разной площади, мощности и формы, формирующиеся в результате многократного излияния и замерзания природных речных и подземных, иногда техногенных вод на поверхность. Излияние вод происходит под действием гидродинамического давления, которое возникает за счет сужения живого сечения потоков в результате зимнего промерзания водоносных пород или озер и подозерных таликов.

Наледи характерны для районов с суровым, резкоконтинентальным климатом, с холодными малоснежными зимами, с большим количеством подземных вод, залегающих близко к поверхности. Особенно благоприятны горно-складчатые районы, где широко распространены грубообломочные породы, многочисленные источники трещинно-жильных, карстовых и других типов вод. Например, в Верхоянско-Колымской горно-складчатой стране насчитано около

10 тыс. наледей, общая площадь которых составляет около 10 тыс. км². Нередко наледи образуют ледяные массивы площадью до 100 км² и более. Так, Момская наледь сопоставима по размерам с ледником Федченко на Памире. В наледях Евро-Азиатского материка аккумулируется более 100 км³ воды, а их площадь составляет около 0,5 % всей площади с многолетней мерзлотой. Чаще всего наледи распространены в долинах рек, многие из них приурочены к тектоническим разломам.

Наледи обладают большой разрушительной силой. Особенно большой вред они приносят автомобильным и железным дорогам. Слой льда перекрывает дорожное полотно и осложняет движение транспорта в течение всего зимнего периода. Различные инженерные сооружения, особенно мостовые переходы, попадающие в зону действия наледей, могут быть частично или полностью разрушены. Известны случаи разрушения наледями жилых домов за счет деградации под ними мерзлых пород и вскрытия напорных подземных вод.

Наряду с негативным воздействием наледей на растительность и инженерные сооружения и опосредованным влиянием на человека, необходимо отметить и их позитивную экологическую роль с ресурсных позиций. Наледи являются аккумуляторами больших объемов пресных вод и выполняют функцию регулирования поверхностного стока за счет постепенной сезонной (летней) сработки накопленных запасов воды и обеспечения определенного гидрологического режима рек и озер. Одновременно наледи являются важнейшей предпосылкой для положительного решения вопросов целевого водоснабжения.

С образованием наледей связано формирование своеобразных форм рельефа – «наледных полей», которые, сливаясь вследствие многолетней миграции наледей, образуют «наледные долины». Сама наледь местами покрыта сетью трещин, огромными воронками с провалами во льду, с ледяными карнизами и мостами в трещинных полях, каньонами во льду и системой мелких надледных озер и ручейков.

Наледи являются кратковременно действующими эпизодическими процессами. В Восточной Сибири их образование происходит с ноября по апрель, особенно интенсивно – в январе-феврале, в мае-июне они обычно тают. По площади действия их можно отнести к локальным процессам, поскольку протяженность отдельной наледи не превышает нескольких десятков километров.

Морозобойное растрескивание пород и формирование полигонально-жильных структур. Это один из наиболее распространенных геокриологических процессов в области развития многолетнемерзлых пород и глубокого сезонного промерзания грунтовых толщ. Криогенное трещинообразование обу-

словлено действием напряжения, которое возникает в массиве мерзлой породы вследствие его сжатия при охлаждении. Оно обычно сопровождается образованием полигонально-жильных структур четырех типов: изначально грунтовых жил, повторно-жильных льдов, первично-песчаных жил, псевдоморфоз по повторно-жильным льдам.

Влияние криогенного трещинообразования на состояние и устойчивость инженерных сооружений проявляется в растрескивании полотна городских улиц (трещины шириной 1–3 см и глубиной 40–50 см в зоне сезонного промерзания); растрескивании цоколей зданий; деформации и разрывах подземных стальных трубопроводов в криолитозоне. В северном (низкотемпературном) типе растрескивания ширина ледяных жил достигает 3–4 м, а глубина – 20–30 м и более. Кроме того, при определенных условиях процесс морозобойного растрескивания способствует развитию термоэрозии, термоденудационного разрушения и отступления береговых обрывов и стенок карьеров (до 7 м в год).

Криогенное трещинообразование можно отнести к кратковременным (циклическим) процессам, воздействующим на биоту и экосистему опосредованно через разрушение и деформацию инженерных сооружений или активизацию и развитие других опасных криогенных процессов.

Солифлюкция и сплывы. Солифлюкация – процесс течения верхних слоев грунта с включенным в него обломочных материалов при избыточном насыщении его водой по водонепроницаемому или мерзлому основанию. Эти процессы протекают под действием силы тяжести совместно с трудноотделяемыми от них процессами сползания, оплывания грунта. Скорость смещения пород при солифлюкции покровного типа составляет порядка 2–10 см/год; на склонах крутизной до 15° солифлюкция, как правило, не приводит к образованию натечных форм рельефа.

Опасные проявления солифлюкции в виде сплывов связаны со смещением (течением) грунтов на территориях расположения трасс наземных магистральных трубопроводов, автомобильных и железных дорог, на бортах открытых горных выработок, участках расположения временных одноэтажных построек. Это быстротекущий циклично проявляющийся процесс, опосредованно влияющий (через деформацию инженерных сооружений) на комфортность проживания человека [173].

Развитие неблагоприятных геокриологических процессов особенно усиливается под влиянием техногенных и антропогенных факторов (строительство различных объектов, разработка месторождений полезных ископаемых).

3.4. Основные техногенные факторы, определяющие специфику эколого-геологической обстановки и их воздействие на геологическую среду

Под **техногенными факторами** понимаются движущие силы (причины) различных техногенных процессов (процессов, связанных с хозяйственной или инженерно-хозяйственной деятельностью человека), оказывающих техногенное воздействие на окружающую среду, обуславливающих изменение геологической среды.

Созданную человеком геосферу (сферу влияния человека на природу) А. Е. Ферсман назвал **техносферой**. Соответственно был выделен **техногенез**, под которым понимается процесс изменения природных комплексов под воздействием производственной деятельности человека. Биосфера преобразуется под влиянием совокупности геологических процессов, связанных с технической деятельностью людей по извлечению из недр, концентрации и перегруппировке химических элементов, их минеральных и органических соединений.

Источники техногенных воздействий на недра – **инженерные сооружения**. Под инженерными сооружениями понимаются любые техногенные объекты, созданные человеком в процессе инженерно-хозяйственной деятельности на земной поверхности и в недрах, включая открытые или подземные выемки. Соответственно, под **техногенными объектами** понимаются любые сооружения, созданные человеком, и используемые им объекты в процессе инженерно-хозяйственной деятельности в пределах недр или на земной поверхности [11].

Техногенное воздействие – различное по своей природе, механизму, деятельности и интенсивности влияние, оказываемое человеком на недра в процессе жизнедеятельности и хозяйственного производства. Термины «хозяйственная деятельность», «инженерно-хозяйственная деятельность», «производственная деятельность», «экономическая деятельность» обозначают различные процессы, происходящие в техносфере.

Под **техногенным воздействием** В. Т. Трофимов и др. [169] понимают различные по своей природе, механизму, длительности и интенсивности нагрузки, оказываемые производственно-хозяйственной деятельностью человека на природные среды, включая литосферу и биоту. Техногенное воздействие – продукт цивилизации, а его специфика и масштабы формировались и изменялись одновременно с развитием общества и достигли максимума на современном этапе, создав реальные предпосылки экологического кризиса.

3.4.1. Характеристика общего техногенного воздействия на геологическую среду

Оценку техногенных воздействий на литосферу (геологическую среду) и их экологических последствий можно вести по разным направлениям: по видам производственной деятельности; по набору и характеру воздействий на определенный компонент литосферы (породы, рельеф, подземные воды и др.); по природе техногенных процессов, их генетической сущности.

Первое направление связано с прямой зависимостью характера и интенсивности техногенного воздействия с особенностями функциональной ориентации производственного объекта, с производственной спецификой источника воздействия. Однако на практике, особенно в пределах урбанизированных горнодобывающих или нефтегазодобывающих территорий, воздействия от отдельных источников, как правило, накладываются друг на друга, суммируются и видоизменяются. Это крайне затрудняет оценку экологических последствий отдельных объектов, так как приходится иметь дело с синергетикой техногенных воздействий и их последствий.

Второе направление ориентировано преимущественно на анализ какой-либо одной геологической составляющей литотехнической (природно-технической) системы. Оно не позволяет комплексно ответить непосредственно на вопрос о техногенных воздействиях на литосферу, хотя опосредованно и связано с ним.

Третье направление позволяет избежать отмеченные сложности в первых двух подходах и оценить экологические последствия техногенных воздействий по их генетической природе. Такой подход был реализован В. Т. Трофимовым, В. А. Королевым и А. С. Герасимовой (1995) [174] при разработке классификации техногенных воздействий (табл. 3.4).

Эта классификация считается, как отмечает В. Н. Быков [10], наиболее представительной по выделенным категориям техногенных воздействий на недра. Очень важно, что воздействия классифицированы по компонентам геологической среды: почвам (П), искусственным грунтам (И), рельефу (Р), горным породам (Г), подземным водам (В), геологическим процессам – динамике (Д).

Основная таксономическая единица этой классификации – классы, которые выделяются по природе (механизму) техногенного воздействия: физического, физико-химического, химического и биологического. В составе первого обособляются подклассы по конкретным физическим полям (термическое, радиационное, электромагнитное и др.). Типы воздействий обособлены по признаку «прямого» и «обратного» действия (например, повышение – снижение, аккумуляция – эрозия, нагревание – охлаждение и т.д.), виды по конкретному техногенному влиянию, связанному с определенной группой источников воздействия (например, отсыпка терриконов, отвалообразование, шахты, рудники, ТЭЦ, ТЭС, ГРЭС и т.д.).

Таблица 3.4

**Классификация техногенных воздействий на геологическую среду
и их экологических последствий [173]**

Класс и подкласс воздействия		Тип воздействия	Вид воздействия	Компоненты геологической среды*										Показатели воздействия, единицы измерения	Потенциальные источники воздействия	Экологические последствия воздействия
				П	Г	И	В	Р	Д							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12	13			
Физическое воздействие	Механическое воздействие	Уплотнение	Статическое (гравитационное)	П	Г	И					Давление, МПа Амплитуда, мм Частота, Гц Уд. энергия, Вт/м ²	Здания, сооружения Вибромеханизмы Автотранспорт, катки Взрывы	Снижение комфортности проживания, вынужденная миграция ряда животных, трансформация биотозов			
			Виброуплотнение	П	Г	И				Д						
			Укатывание	П	Г	И				Д						
			Трамбование	П	Г	И				Д						
			Взрывоуплотнение	П	Г	И				Д						
		Разуплотнение	Статическая разгрузка		Г	И			Р		Д	То же	Шахты, полости, котлованы Взрывы	Изменение качества ресурса геологического пространства, снижение комфортности проживания		
			Динамическая разгрузка		Г	И			Р		Д					
			Бурение		Г	И						Глубина скважин, м Работа, Дж Мощность, Вт Уд. энергия, Вт/м ²	Буровые скважины Горные комбайны Горные выработки Карьеры, разрезы Шахты, штольни Взрывы Агротехническая деятельность	Снижение комфортности проживания, трансформация природных экосистем, изменение качества ресурса геологического пространства, снижение минерально-сырьевого ресурса территории, трансформация плодородия почв		
		Внутреннее разрушение массива	Дробление		Г	И										
			Фрезирование		Г	И										
		"Аккумуляция" рельефа	Откалывание		Г	И										
			Рытье, экскавация		Г	И										
			Взрывное разрушение		П						Д					
			Распахивание, культивация		П						Р					
Планировка рельефа	"Аккумуляция" рельефа	Отсыпка территорий		И				Р	Д	Коэффициент измененности Уд. энергия, Вт/м ²	Шахты, рудники ТЭС, ГЭЦ, ГРЭС Комбинаты обогащения Строительство					
		Отвалообразование		И				Р	Д							
		Создание насыпей		И				Р	Д							
		Создание дамб		И				Р	Д							
Планировка рельефа	Планировка рельефа	Строительная планировка	П	Г	И			Р	Д	То же	Строительство	Улучшение качества ресурса геологического пространства, улучшение комфортности проживания				
		Дорожная планировка	П	Г	И			Р	Д							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Физическое воздействие	Механическое воздействие	Планировка рельефа	Рекультивация Террасирование склона	П	Г	И		Р	Д	Коэффициент измененности Уд. энергия, Вт/м ²	Объекты рекультивации Объекты мелиорации	Улучшение качества ресурса геологического пространства, улучшение комфортности проживания
		"Эрозия" рельефа	Формирование выемок Рытье каналов, котлованов, разрезов Подрезка склонов Образование мульд проседания и опускания	П П Г П	Г Г Г Г	И И И И	Р Р Р Р	Р Р Р Р	Д Д Д Д	То же	Карьеры, разрезы Котлованы, каналы Дорожное строительство Шахты, рудники	Снижение качества и потеря ресурса геологического пространства, снижение комфортности проживания. Перенос населенных пунктов, отдельных зданий и сооружений, снижение комфортности проживания, деградация и смена растительности, потеря ресурса геологического пространства
		Гидроаккумуляция рельефа	Гидронамыв дамб, плотин Намыв золоотвалов Намыв насыпей, массивов			И И И	Р Р Р	Р Р Р	Д Д Д	"-	Строительство ТЭЦ, ГЭС Хвостохранилища Шламоаккумуляторы	Снижение и потеря ресурса геологического пространства
		Гидроэрозия рельефа	Гидронамыв массивов Просадочно-суффозионное воздействие	П	Г	И	Р	Р	Д	"-	Карьеры, разрезы Драги Водозаборы, подземное выщелачивание	Снижение и потеря ресурса геологического пространства. Снижение комфортности проживания, деградация ландшафта
Гидродинамическое воздействие		Повышение напора	Нагнетание, инъекция Подтопление Орошение		Г	И	В	Д	Д	Изменение напора, уровня влажности Уд. энергия, Вт/м ²	Закачки, сбросы Утечки, протесты Сельскохозяйственные поливы, гидромелиорация	Изменение качества ресурса геологического пространства, изменение условий питьевого водоснабжения (качества жизни), трансформация растительного покрова
		Снижение напора	Откачки Дренажирование Осушение	П П П	Г Г Г	И И И	В В В	Д Д Д	Д Д	То же	Водозаборы Объекты мелиорации	Изменение качества ресурса геологического пространства и комфортности проживания
Термическое воздействие		Нагревание	Кондуктивное (до 100°C) Конвективное (до 100°C) Обжиг (более 100°C)	П П П	Г Г Г	И И И	В В В			Температура, термический градиент, град/м Уд. энергия, Вт/м ²	Домны, ТЭЦ, АЭС, ГЭС, горячие пещи Подземная выплавка серы, газификация углей	Снижение комфортности проживания, трансформация биотозов, потеря ресурса геологического пространства. Изменение качества геологического пространства

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
Физическое воздействие	Термическое воздействие	Нагревание	Плавление		Г	И				Температура, термический градиент, град/м Уд. энергия, Вт/м ²	Объекты технической мелиорации Полигоны ТБО	Снижение комфортности проживания, трансформация биогенозов, потеря ресурса геологического пространства. Изменение качества геологического пространства			
			Термическое упрочнение		Г	И									
		Охлаждение	Биохимическое	П	Г	И	В			То же	Холодильники Закачки растворов Объекты технической мелиорации	Изменение качества геологического пространства			
			Кондуктивное Конвективное Замораживание		Г	И	В								
	Электромагнитное воздействие	Стихийное	Наводка электрических полей	П	Г	И				Напряженность, В/см Плотность, А/м ²	ЛЭП, линии железных дорог, метрополитен, линии трамваев, троллейбусов, электросети	Нарушение функций головного мозга и психики людей, разрушение их иммунной системы. Прямое воздействие на здоровье человека			
			Целенаправленное	Электрообработка		Г	И						То же	Объекты технической мелиорации	Изменение качества ресурса геологического пространства
				Электроосмос Электролиз Электросиликатизация	П	Г	И	В							
		Загрязнение		Короткоживущее радионуклидное	П	Г	И	В			Радиоактивность мР/ч, мР/ч·м ² , Бк/кг(л)	Ядерные взрывы Выбросы АЭС Склады радиоактивных веществ, АЭС, заводы по переработке радиоактивных веществ			
			Долгоживущее радионуклидное	П	Г	И	В								
			Очистка (дезактивация)	Химическое	П	Г	И	В					То же	Объекты дезактивации и реабилитации	Улучшение качества ресурса геологического пространства
Электрохимическое Биологическое Механическое	П П П	Г Г Г		И И И	В 										
Физико-химическое воздействие	Гидратное	Капиллярная конденсация	П	Г	И				Градиент влажности	Асфальтовые покрытия Дренажные системы	Изменение качества ресурса геологического пространства				
		Дегидратация (сушка)	П	Г	И										
	Кольматирование	Физическое	П	Г	И				Объем кольматации, м ³	Объекты технической мелиорации	Улучшение качества ресурса геологического пространства				
		Физико-химическое	П	Г	И										

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Физико-химическое воздействие		Выщелачивание	Прямое Диффузное		Г	И	В			Уд. энергия, Вт/м ² мг/г, мг/м ³	Объекты выщелачивания	Изменение качества ресурса геологического пространства, снижение минерально-сырьевого ресурса
		Ионнообменное	Солонцевание Собственно ионно-обменное	П П	Г Г	И И				Емкость обмена, мг-экв/100 г	Мелиорация земель	Улучшение качества ресурса геологического пространства
Химическое воздействие	Загрязнение		Фенольное, хлорфенольное	П	Г	И	В			Концентрация загрязнителя, мг/г, мг/м ³	Химические фабрики	Повышение заболеваемости населения зооэкологическими видами болезней. Деградация, возможная гибель живых организмов и флоры, потеря качества ресурса геологического пространства
			Нитратное	П	Г	И	В			Превышение ПДК	Фермы, поля орошения	
			Пестицидное	П	Г	И	В			Объемная скорость массопереноса, г/с-м ²	Склады отходов	
			Гербицидное	П	Г	И	В				Сельскохозяйственная деятельность	
			Тяжелыми металлами	П	Г	И	В				Транспорт, выбросы АЗС, нефтехранилища	
			Угледорожное	П	Г	И	В				Кислотные дожди	
			Кислотное	П	Г	И	В				Предприятия, стоки	
Биологическое воздействие	Загрязнение		Щелочное	П	Г	И	В				Внесение удобрений, промстоки	Улучшение качества ресурса геологического пространства
			Засоление	П	Г	И	В			То же	Мелиорация земель	
			Нейтрализация	П	Г	И	В					
			Рассолнение	П	Г	И	В					
			Разбавление	П	Г	И	В					
			Цементация		Г	И				Объем закрепления, м ³	Объекты технической мелиорации	
			Силикатизация		Г	И						
	Очистка	Закрепление массивов	Битумизация		Г	И						Изменение качества ресурса геологического пространства
			Смолизация		Г	И						
			Известкование и др.	П	Г	И						
			Бактериологическое	П	Г	И	В			Превышение ПДК. Уд. скорость переноса	Свалки ТБО	
	Очистка	Загрязнение	Микробиологическое	П	Г	И	В				Сельскохозяйственные фермы, склады	Дискомфортность проживания населения, желудочные инфекционные заболевания, долговременные потери качества ресурса геологического пространства
			Стерилизация	П	Г	И	В			То же	Силосные ямы Канализация	
		Очистка		П	Г	И	В				Объекты очистки	Улучшение качества ресурса геологического пространства

*Компоненты геологической среды, на которые потенциально может передаваться данный вид техногенного воздействия: П – почвы; Г – горные породы; И – искусственные грунты; В – подземные воды; Р – рельеф; Д – геодинамические процессы.

Видовое техногенное воздействие характеризуется количественными показателями, отражающими его специфику.

При анализе классификации следует учитывать, что в ней рассмотрены лишь исходные «первичные» техногенные воздействия, а не каскадный эффект, который подлежит учету по другим критериям, главным образом связанным с геологической средой (породы, рельеф, подземные воды и др.). С экологических позиций важно, что в рассматриваемой классификации таксоны и признаки их выделения не зависят от иерархии геологических тел и масштабного уровня исследования. Это позволяет по единому признаку оценивать экологические последствия техногенных воздействий от локальных до планетарного уровней геологических тел и литотехнических (природно-технических) систем [173].

Первый класс (физических воздействий) техногенных воздействий на геологическую среду объединяет воздействия физической природы. Это самый большой и разнообразный класс, состоящий из шести подклассов.

К подклассу механического воздействия относятся техногенные воздействия на геологическую среду, оказываемые механическим путем без применения гидромеханизмов. Механическое воздействие передается на породы, рельеф, но не передается непосредственно на подземные воды; оно влияет на некоторые геодинамические процессы.

К подклассу гидромеханических воздействий относятся механические воздействия, осуществляемые с помощью гидромеханизмов. Эти воздействия связаны с геодинамическими процессами, также в основном передаются на породы, рельеф, но не передаются на подземные воды.

Подкласс гидродинамических воздействий объединяет собственно гидродинамические воздействия на подземные воды, на их гидродинамический режим. Воздействия этого подкласса влияют как на вещественные компоненты геологической среды (горные породы и подземные воды), так и на геодинамические процессы. При этом изменения рельефа проявляются как следствие этих воздействий в результате активизации геодинамических процессов.

Экологические последствия, связанные с этими тремя подклассами воздействия, достаточно близки между собой, так как объединены рамками ресурсной и геодинамической экологической функциями литосферы, ее экологическими свойствами. Экологический диапазон последствий весьма широк и охватывает следующие основные направления. Прямое воздействие на человека связано со снижением комфортности проживания, а иногда и с необходимостью отселения и даже гибелью людей при деформации и разрушении зданий,

горных выработок и крупных инженерных сооружений. Механическое воздействие влияет и на диких животных, приводя к их гибели или миграции в более спокойные места обитания. Если посмотреть на потенциальные источники воздействия, связанные с рассматриваемыми подклассами, неизбежно вытекает вывод, что именно с ними связаны потери минерально-сырьевых ресурсов, снижение качества и площадей ресурса геологического пространства – важнейших факторов, определяющих стабильность функционирования экосистем высокого уровня организации.

Подклас термических техногенных воздействий обусловлен действием тепловых полей, а точнее их отклонениями от природного фона. Термическое техногенное воздействие вне криолитозоны в основном влияет непосредственно лишь на вещественные элементы геологической среды: горные породы и подземные воды, в меньшей мере влияет на рельеф и геодинамические процессы. В пределах же криолитозоны это воздействие оказывается одним из ведущих, существенно влияющим на все без исключения компоненты геологической среды, включая рельеф и различные геодинамические процессы. По сути, этим определяется спектр и территориальная приуроченность экологических последствий, чаще всего приводящая к снижению комфортности проживания населения, трансформации биогеоценозов, изменению качественных и количественных характеристик ресурса геологического пространства.

К подклассу электромагнитных техногенных воздействий относятся воздействия, осуществляемые под действием электрических, магнитных или электромагнитных полей. Электромагнитные воздействия влияют непосредственно лишь на вещественные элементы геологической среды – горные породы и подземные воды – и не влияют на рельеф и геодинамику территории. В экологическом отношении последствия воздействия этих полей, а точнее их аномальных значений достаточно серьезны. Они приводят к рассогласованию ритмов головного мозга у человека и нарушению его психической функции, а также к разрушению иммунной системы, т.е. непосредственно влияют на здоровье людей и условия их существования. Для урбанизированных территорий стал актуальным вопрос о регламентации мощности и режима работы электромагнитных излучателей.

Подкласс радиоактивных воздействий объединяет воздействия, вызванные радиацией. Они не оказывают влияния на рельеф и геодинамические процессы, а влияют только на вещественные элементы геологической среды – породы и подземные воды. Экологическими последствиями этих воздействий являются онкология, лучевая болезнь, мутагенные изменения, т.е. факторы, опре-

деляющие не только здоровье, но и саму возможность существования человека. Одновременно аномалии радиационных полей резко ухудшают ресурсы геологического пространства. Установлено, что с радиационными полями повышенной активности (дозы излучения) связаны аномалии в развитии растительности (явления гигантизма ягод, грибов и др.).

Второй класс (физико-химических воздействий) объединяет техногенные воздействия физико-химической природы, т.е. воздействия, обусловленные различными поверхностными физико-химическими явлениями и поглотительной способностью пород (адсорбцией, диффузией, осмосом, капиллярными явлениями и т.д.). Поэтому воздействия данного класса влияют лишь непосредственно на вещественные элементы геологической среды. Здесь выделяются такие типы воздействий, как гидратное, осуществляемое за счет техногенной гидратации или дегидратации пород, кольтматирование пород, выщелачивание и ионообменное воздействие.

Экологические последствия этих воздействий связаны в основном с изменением качества геологического пространства как в сторону улучшения, так и его снижения. Процессы выщелачивания (например, серы) могут влиять на ресурсы минерально-сырьевой базы и снижение комфортности проживания населения.

Третий класс (химических воздействий) включает в себя воздействия химической природы, обусловленные химическим взаимодействием различных веществ и компонентов геологической среды – пород и подземных вод. Воздействия этого класса влияют лишь на вещественные компоненты геологической среды и не влияют непосредственно на рельеф и геодинамические процессы. В этом классе выделяются три типа техногенных воздействий – химическое загрязнение, химическая очистка и химическое закрепление массивов горных пород.

Экологические последствия химического загрязнения связаны со специфическими формами заболевания населения (гипер- и гипозлементозы), нарушением функции гомеостатической регуляции организма с развитием мутаций и другими тяжелыми последствиями, а в целом приводят к патогенезу живых организмов. С ореолами техногенного загрязнения связано и резкое ухудшение качества ресурса геологического пространства, а иногда и потеря его на длительное время. С химической очисткой и закреплением массивов горных пород связано улучшение качества жизни и улучшение качества ресурса геологического пространства.

Четвертый класс (биологических воздействий) объединяет техногенные воздействия биологической, точнее микробиологической, природы, которые произвольно или непроизвольно вызываются человеком. Биологические техногенные воздействия оказывают влияние только на вещественные элементы геологической среды – горные породы и подземные воды – и не влияют непосредственно на рельеф и геодинамические процессы. Среди них выделяются типы воздействий – биологическое загрязнение и очистка компонентов геологической среды. Экологические последствия биологических воздействий выражаются либо в увеличении заболеваемости людей инфекционными болезнями (загрязнения), либо в улучшении здоровья и качества жизни населения (биологическая очистка компонентов геологической среды). Разновидности при физическом, физико-химическом и химическом воздействиях выделяются по признакам: времени (постоянные, временные), размера (точечные, линейные, площадные, объемные), положения (наземные, подземные), обратимости (обратимые, необратимые); при радиационном типе воздействия добавляется воздействие по виду радионуклидов, а при биологическом – по виду микроорганизмов [173].

Анализ табл. 3.4 свидетельствует о широком диапазоне воздействий техногенных факторов на геологическую среду и их экологических последствий. Последние сводятся к ухудшению комфортности проживания, повышению заболеваемости и вынужденной миграции населения, деградации природных биоценозов, снижению качества и потере ресурса геологического пространства, истощению минерально-сырьевых ресурсов.

3.4.2. Промышленные, урбано-промышленные и сельскохозяйственные комплексы, как источники техногенного воздействия на геологическую среду

Негативные преобразования природной, в т.ч. геологической, среды в значительной степени зависят от особенностей хозяйственной деятельности. Различные виды промышленности и сельского хозяйства определяют техногенную нагрузку на геологическую среду, главным компонентом которой являются токсичные вещества. Соответственно выделяется две группы объектов – промышленные и сельскохозяйственные.

Промышленные комплексы дифференцируются по видам производств с учетом их возможного экологически негативного влияния на природную среду. Выделены энергетические комплексы, черная металлургия, цветная металлургия, химическая промышленность, лесная и деревообрабатывающая промыш-

ленность и т.д. Последние дифференцируются более дробно. Так, комплексы по производству стройматериалов разделяются по видам продукции: цемент, стекло, фаянс, фарфор, кирпич. Наибольшую экологическую опасность имеет производство цемента, наименьшую – производство стекла, фаянса, фарфора. Кирпичное производство занимает промежуточное положение. Такой подход в известной мере условен. Отдельные виды химических производств имеют четкую гамму загрязнителей. Экологическая специфика большинства других промышленных комплексов может быть самой различной и определяется профилем предприятий. Влияние промышленных комплексов на геологическую среду в сильной степени зависит от особенностей технологии производств, характера очистных сооружений и т.д.

Города являются самыми крупными техногенными концентратами вещества, энергии и одновременно самыми мощными источниками их выброса и рассеивания. Крупная промышленность концентрируется в районах городов, интенсивность техногенной нагрузки на геологическую среду, как правило, зависит от численности населения. Каждый город имеет коммунально-бытовое, энергетическое, транспортное хозяйства, дающие более или менее постоянный спектр загрязняющих веществ. Характер техногенных воздействий городов на геологическую среду определяют следующие виды деятельности: 1) строительно-ремонтные; 2) транспортные; 3) промышленное производство; 4) коммунально-бытовое; 5) выработка тепловой и электрической энергии. Они сопровождаются загрязнением атмосферы, изменением гидросферы, земной коры [11].

Синергетический эффект техногенных (урбано-промышленных) и природно-геологических факторов воздействия на городскую среду часто обуславливает сложную эколого-геологическую обстановку городов. Основными эколого-геологическими проблемами многих городов являются: 1) высокая степень техногенной нагрузки в городской агломерации, которая обусловила химическое загрязнение в разной степени всех природных сред – атмосферы, почвенно-растительного покрова, поверхностных и подземных вод; 2) накопление значительных объемов промышленных и бытовых отходов; 3) развитие различных геологических и природно-техногенных экзогенных геологических процессов – подтопления, заболачивания, овражной эрозии, оползней, суффозии, карста и др.; 4) изменение геологических и инженерно-геологических условий в районах интенсивного техногенного воздействия вследствие активизации геологических процессов, нарушения водного баланса, оседания земной поверхности; 5) повышение сейсмоопасности, особенно в геодинамических активных

зонах с высокой степенью трещиноватости; 6) истощение запасов подземных вод и их сильное загрязнение; 7) техногенные и природно-техногенные провальные явления над подработанными пространствами (аварии в метро, в городских туннелях, коммунальных сетях и др.) и в некоторых случаях – негативное проявление горных выработок прошлых лет [51].

Промышленные комплексы, связанные с добычей полезных ископаемых, оказывают наиболее сильное техногенное воздействие на все компоненты геологической среды.

Сильное техногенное воздействие на природную среду оказывают энергетический и транспортные комплексы, особенно их влияние сказывается на загрязнении и трансформации ландшафтов, почв, приповерхностных вод.

Сельскохозяйственные объекты, в отличие от промышленных, нельзя рассматривать как чисто техногенные. Вид сельскохозяйственного производства зависит от ландшафтно-климатической зоны, типов почв и других природных факторов, поэтому сельскохозяйственные системы следует рассматривать как природно-техногенные. Их особенностью является широкое распространение. Воздействие на природную среду определяется не только видом преобладающей деятельности, но и количеством внесенных удобрений, характером их использования, технологией земледелия, животноводства и т.д.

Размещение техногенных объектов в экономических районах России и оценка их возможного влияния на геологическую среду показаны на карте источников техногенного загрязнения России (ВСЕГИНГЕО, ИМГРЭ, 1995) [37]. Выделено 11 экономических районов России: Северо-Западный, Северный, Центральный, Центрально-Черноземный, Волго-Вятский, Северо-Кавказский, Поволжский, Уральский, Западно-Сибирский, Восточно-Сибирский, Дальневосточный.

Наибольшие техногенные воздействия на геологическую среду наблюдаются в Центральном, Центрально-Черноземном, Поволжском, Северо-Кавказском и Уральском экономических районах. Территориальное распределение источников техногенного воздействия геологической среды неравномерно. В наибольшей степени они сконцентрированы в районах крупных городов, промышленных узлов, районов с интенсивной добычей полезных ископаемых. Последствия техногенного загрязнения геологической среды определяются не только интенсивностью хозяйственной деятельности, но и природно-зональными факторами.

Отмечены следующие особенности влияния техногенеза на окружающую (в т.ч геологическую) среду:

1) в подавляющем большинстве районов с высокой техногенной нагрузкой влияние на геологическую среду является комплексным. Наиболее часто наблюдается разнообразный спектр загрязняющих веществ, в котором трудно определить «главного» загрязнителя геологической среды;

2) последствия техногенных воздействий на геологическую среду в значительной степени определяются природными особенностями территорий. Например, загрязнение тяжелыми металлами более опасно в аридных условиях и криолитозоне, чем в гумидных районах. Слабая интенсивность миграции в аридных условиях и криолитозоне способствует накоплению тяжелых металлов в почвах, сезонноталом слое и растениях. В гумидной зоне, где величины рН способствуют миграции тяжелых металлов, а водный режим почв и пород зоны аэрации относится к промывному типу, тяжелые металлы выносятся подземными водами в реки, а далее поступают в конечные базисы стока – моря и океаны. Наиболее уязвимы к техногенному воздействию ландшафты криолитозоны и аридной зоны. Особую роль здесь играет растительность, деградация которой резко снижает защитный природный потенциал геологической среды;

3) региональное техногенное воздействие на геологическую среду, которое в основном является аэрогенным, в существенной степени контролируется рельефом и климатом. В наибольшей степени подвержены загрязнению территории с равнинным рельефом, где отсутствуют крупные орографические барьеры, ограничивающие распространение токсичных веществ (Центральный, частично Северо-Западный, Центральнo-Черноземный и другие экономические районы). Поллютанты могут переноситься на расстояние до 1000 км. В районах с холмистым и горным рельефом атмосферный перенос загрязнения не охватывает столь больших территорий, но здесь существует опасность более интенсивного загрязнения за счет его аккумуляции на наветренных склонах гор и возвышенностей, в межгорных котловинах (Уральский, Восточно-Сибирский, частично другие экономические районы). Интенсивность и площади регионального загрязнения в значительной степени определяются количеством атмосферных осадков, скоростями и направлениями ветров;

4) Локальное загрязнение геологической среды, миграция которого осуществляется в основном в поверхностных и подземных водах, наиболее опасно в районах с холмистым и горным рельефом, т.к. здесь резко возрастает интенсивность водообмена. Благодаря водному переносу загрязнение может охватить значительные площади, в т.ч. прилегающие к возвышенностям и горам равнины, т.е. приобрести региональный характер [37].

3.4.3. Оценка техногенного воздействия на геологическую среду при добыче полезных ископаемых

В настоящее время в России, несмотря на разработанную нормативно-правовую базу, многочисленные федеральные законы в области охраны окружающей среды, контроль недропользования, природоохранные меры, принимаемые на разных уровнях, сохраняются тенденции трансформация геологической среды при техногенном воздействии горнопромышленного и нефтегазового комплекса [100, 133, 137, 179–182, 187 и др.]

3.4.3.1. Добыча полезных ископаемых и ее следствия

Полезные ископаемые (газообразные, жидкие, твердые) по промышленному использованию делятся на 1) рудные (металлические), 2) нерудные (неметаллические), 3) горючие (каустобиолиты), 4) гидроминеральные. Они используются как для нужд производства без предварительной переработки, так и для извлечения из них необходимых компонентов (руда). В целях размещения горнодобывающих предприятий систематически отчуждаются значительные площади земельных угодий. В мире действует свыше 40 тыс. горнодобывающих предприятий с общим объемом переработки горной массы около 30 млрд м³ в год, ежегодно перемещается около 1 млрд т породы [11].

Объекты горнодобывающей промышленности существенно влияют на глубокие горизонты геологической среды, вызывая перераспределение напряжений в земной коре, изменение гидродинамических и гидрогеохимических параметров подземных вод.

Горнодобывающий класс природно-технических экогеосистем характеризуется максимально проявленными негативными эколого-геологическими условиями. Характерным системообразующим фактором является глубинное (до 8 км) механическое, химическое и физическое преобразование литосферы. При добыче полезных ископаемых происходит перемещение объемов вещества, сопоставимое с крупнейшими геологическими процессами. Важным системообразующим фактором является перераспределение глубинного минерального вещества между лито-, гидро- и атмосферами. При открытой добыче полезных ископаемых глубинные породы в виде буровзрывной пыли покрывают пространства в радиусе до 50 км и более. Вскрышные породы складированы на поверхности, формируя качественно новый техногенный рельеф. Последний образует новые площади водосбора, значительно отличающиеся от первоначальных. Системообразующим фактором экогеосистем также являются

ся измененные гидродинамические условия, сопровождающиеся образованием крупных депрессионных воронок. В результате происходит отмирание малых рек, загрязнение и обмеление более крупных. Отличительным признаком данных экогеосистем является образование техногенных поверхностных водотоков, формирующихся из дренажных вод карьеров и осветленных вод хвостохранилищ. Системообразующий фактор экогеосистем горнодобывающего класса есть отчуждение крупных территорий почв как под карьеры, так и под отвалы. В некоторых случаях производится снятие плодородного слоя и его селективное складирование. Однако почвы в отвалах быстро выветриваются и теряют свои уникальные свойства. Нередко производится бессистемное отвалообразование почв совместно с вскрышными породами, что приводит к полной потере данного природного ресурса. Таким образом, экогеосистемы горнодобывающего класса являются примером коренной переработки естественных природных условий. Трансформированная литосфера определяет угнетение жизнедеятельности экосистем всех уровней [109].

Изменения земной коры происходят как в процессе добычи полезного ископаемого, так и в результате процессов-следствий. При извлечении твердых ископаемых осуществляется комплекс горнотехнических мероприятий, которые приводят к изменению геологических, геоморфологических, гидрогеологических, гидрологических и метеорологических условий и в районе добычи, и на смежных площадях.

Наиболее характерные **виды воздействия** горнодобывающих предприятий на **геологическую среду**: 1) отчуждение площадей для размещения горнодобывающих предприятий, их комплексов, сопровождающих и вспомогательных сооружений; 2) нарушение естественных ландшафтов; 3) изменение естественных свойств геологической среды вследствие истощения запасов подземных вод, нарушения условий взаимосвязи поверхностных и подземных вод; 4) изменение естественных свойств геологической среды ввиду изменения геофизических полей (гравитационного, электрического, магнитного, температурного); 5) синергетика нарушений, последствиями которых являются заметные или существенные осложнения при производстве горных работ; 6) образование провальных явлений, в некоторых случаях катастрофических провалов (особенно – на калийных шахтах) над подработанными пространствами.

Особая группа мероприятий проводится в пределах площади горного отвода и смежных территорий с целью уменьшения негативного эффекта явлений, возникающих при добыче. Самостоятельный комплекс работ – рекультивация земель.

Добыча из карьеров строительных материалов достигает почти 100 %. При карьерной добыче полезных ископаемых *перемещение горных масс* техническими средствами производится: 1) при удалении вскрышных пород; 2) при устройстве канав для отвода поверхностных вод; 3) при извлечении полезного ископаемого; 4) при формировании отвалов из хвостов при обогащении руд. Все эти мероприятия приводят к значительному изменению рельефа. Формы рельефа, созданные человеком при карьерной добыче полезных ископаемых, а также при их переработке, подразделяются на денудационные (карьеры, траншеи, канавы), аккумулятивные (внешние отвалы, насыпи, дамбы) и денудационно-аккумулятивные (внутренние отвалы).

Дражные разработки россыпных полезных ископаемых и стройматериалов приводят к образованию вскрышных отвалов пустой породы, карьеров, плотин, дамб, валов, впадин.

Подземная добыча полезных ископаемых ведется путем спиралеобразных, стволово-камерных и обычных выработок, состоящих из шахтных стволов и штолен. При добыче каждой тысячи тонн угля шахтным способом на поверхность в среднем доставляется 100–115 м³ породы. *Породные отвалы*, помимо отчуждения земель, создают *загрязнение окружающей среды*. Шахтные отвалы имеют различную форму: платообразную одноярусную и многоярусную, гребневидную, коническую. В связи с негативным воздействием отвалов на окружающую среду во многих странах увеличивают закладку пустой породы в подземные выработки. В Польше и ФРГ пустая порода из большинства угольных шахт закладывается в выработанное пространство. В ФРГ ежегодно с поверхности закладывается в подземные выработки 3–4, во Франции 6–7, в Польше 4–5, в Чехии около 2 млн м³ породы.

При карьерной и шахтной добыче угля в последнее время в России ежегодно выдается на поверхность около 2,4 км³ *шахтных, дренажных и шламовых вод*. В процессе добычи угля обычно вскрывается несколько водоносных горизонтов. В Кизеловском каменноугольном бассейне в связи с обводнением карбонатных пород кровли добыча велась с откачкой воды. Водопритoki из закарстованных пород достигали 2000–2500 м³/ч. В результате сформировались депрессионные воронки, изменились условия водообмена в зоне влияния шахт.

При ежегодной добыче 2 млрд т угля из недр извлекается 26,5 млрд м³ *метана* и 16,8 млрд м³ *углекислого газа*. С вентиляционными потоками выносятся также пыль. Она образуется при погрузочно-транспортных работах и продуцируется на обогатительных фабриках [11].

3.4.3.2. Природно-техногенные процессы при разработке полезных ископаемых

При разработке полезных ископаемых, сопровождающейся извлечением из массивов твердых, жидких и газообразных продуктов, создаются условия для развития таких процессов, как *оползни, обвалы, осыпи, оплывины, просадки, деформации пород над выработками, стихийное накопление культурного слоя, нарушение состояния поверхностных вод (уменьшение и увеличение расхода), загрязнение подземных и поверхностных вод* [4, 21].

Водоотбор и формирование депрессионных воронок приводят к снижению расходов рек, исчезновению родников, небольших рек. Следствием сброса сточных вод является увеличение расхода рек на отдельных участках. Сброс шахтных вод сопровождается *загрязнением поверхностных и подземных вод*.

Химический состав шахтных вод зависит от содержания в углях и породах угленосных формаций сульфидной серы, карбонатов и рассеянных элементов. При содержании серы более 4 % формируются кислые (рН 2–3) сульфатные воды с минерализацией от 3 до 35 г/л. В результате смешения в процессе эксплуатации с природными водами возрастает их окислительный потенциал (рН повышается до 7,5). Взаимодействуя с углем и породами, они приобретают сульфатный железисто-алюминиевый кальциевый состав. Содержание ряда микроэлементов (свинца, меди, цинка, никеля, кобальта) увеличивается на несколько порядков.

Изменение геологических, геоморфологических, гидрогеологических, гидрологических и метеорологических условий в районах добычи полезных ископаемых сопровождается проявлением *природно-техногенных процессов* [112].

Горные удары происходят вследствие разгрузки энергии упругой деформации высокопрочных скальных пород в местах максимальных концентраций напряжений и их перераспределения в связи с проходкой на глубинах обычно более 200 м. Горные удары сопровождаются местными техногенными землетрясениями силой 6–7 баллов. Можно предположить, что они провоцируются в некоторых случаях слабыми тектоническими землетрясениями. При прогибании и деформации кровли выработанного пространства активизируются обвальные процессы в полостях и пещерах вышележащих закарстованных известняков.

Внезапные выбросы угля и газа в выработки в зонах тектонических нарушений угольного пласта характерны для глубин более 100–250 м.

Прорывы поверхностных и подземных вод возникают внезапно при вскрытии водоносных горизонтов через трещины и пустоты.

Подземные пожары в результате самовозгорания и загорания при производстве горных работ сопровождаются обрушением и сдвижением пород.

В депрессионных зонах, возникающих при откачках воды, происходят физико-химические изменения пород: фильтрационная деформация, подземный размыв и вынос веществ, иногда процессы коагуляции.

К группе поверхностных относятся процессы на поверхности и в толще искусственных грунтов, а также в зоне их влияния: выветривание и почвообразование, эоловый перенос и аккумуляция, криогенные процессы, ускоренная эрозия, ускоренная аккумуляция, термические оползни – обрушения и выбросы породы при горении отвалов, а также провалы над горными выработками. Часть из них приводит к увеличению речного стока, в т.ч. химического.

Самовозгорание терриконов, отвалов, выветривание и почвообразование. Значительные изменения всех элементов ландшафта наблюдаются в зоне влияния породных отвалов угольных шахт.

Породные отвалы состоят из обломков аргиллита, песчаника, известняка с включением угля. Они складываются в виде терриконов высотой до 80 м, которые вследствие наличия горючих веществ возгораются. Породы отвалов геохимически неоднородны, что определяется литологией разрабатываемой толщи, технологией добычи и процессами преобразования углеотходов на земной поверхности.

В состав угленосных толщ входят главные и малые элементы [86]. Главные с содержанием более 1 % представлены элементами органической части каустобиолитов (углерод, водород, кислород, азот), золообразующими элементами углей и породообразующими вмещающих их пород (кремний, алюминий, железо, кальций, магний, калий, натрий), токсичными и технологически вредными компонентами топлива (сера, фосфор).

Содержание **серы** по отдельным месторождениям достигает 12 %, а на некоторых локальных участках – до 20 %. Наиболее высокосернисты угли Подмосковского, Донецкого, Кизеловского (среднее содержание 5,2 %) и некоторых других месторождений. Твердые каустобиолиты содержат серу в сульфидах (пирит, реже марказит), органических соединениях, сульфатах (гипс) и элементарном виде. В окислительной обстановке земной поверхности такие элементы, как сера, кальций, магний, натрий, входящие в состав углей и породообразующих минералов, обладают высокой миграционной способностью.

Складированные на поверхности земли породные отвалы подвергаются **техногенной минерализации** в результате процессов переплавления и обжига пород, перегонки углистых включений, фумарольных явлений, выветривания и могут рассматриваться в качестве минерально-сырьевого комплекса, объединяющего как природные, так и техногенные минералы. Например, среди техногенных минералов горелых отвалов угольных предприятий Челябинского угольного бассейна описано 43 вида, из них 15 установлено впервые для Урала, 9 – для СНГ. Среди минералов – самородное железо, графит, сера и другие серосодержащие минералы: когенит, пирит, пирротин, халькозин, ковеллин, галенит, ольгамит, водный полисульфид кальция, сульфалимит, сульфаты аммония, алюминия, магния.

В зоне выветривания **отвалы – техногенные грунты** следует рассматривать как сложные геохимические системы, в которых образуются растворимые и нерастворимые продукты, влияющие на геологическую среду, и инженерные сооружения. Особенно интенсивно протекают химическое и биохимическое выветривание, окисление, растворение, выщелачивание, метасоматоз, гидролиз, гидратация.

Окислению подвергаются и другие минералы с закисными формами атомов. Окисление сульфидов железа (пирита, марказита) сопровождается выделением серной кислоты и снижением pH до 3,5–1,5. Экзотермические реакции, по мнению некоторых исследователей, повышают температуру до уровня самовозгорания. Гидролизу подвержены силикаты, причем растворимые соединения экстрагируются.

Экзотермические реакции приводят к самовозгоранию отвалов. Горение отвалов продолжается в течение нескольких лет. Это ведет к загрязнению атмосферы продуктами горения, которые осаждаются на поверхности земли. В атмосферу выбрасывается газовый дым, его твердые частицы представлены сажей, коксом, силикатными шариками, кристаллами гипса и органическими остатками. В газовой фазе преобладают сернистый газ и окислы азота.

Особую опасность представляет собой образование **катастрофических провалов** над подработанными пространствами, особенно **при разработке калийных месторождений**, которые приводят иногда к затоплению рудников. В результате недостаточных геологических исследований и / или ненадлежащего планирования шахт в мире за последние 150 лет было затоплено более 80 калийных рудников, из них в Германии – более 30, Канаде – 6, России – 2 (в 1986 и 2006 гг. на ВКМКС). Установлено, что подавляющее большинство аварий на

рудниках происходит в условиях высокой геодинамической активности горных массивов, осложняющихся высокой трещиноватостью пород.

Одним из крупнейших в мире месторождений калийных солей является Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей (ВКМКС), расположенное на севере Пермского края (Березниковско-Соликамский промузел). Основными факторами горно-геологического и экологического рисков на территории ВКМКС являются геологические условия (тектоника, неотектоника, строение и состав водозащитной толщи), гидрогеологические условия (водобильность и состав подземных вод зоны активного водообмена), инженерно-геологические условия (геодинамическая активность, техноприродные процессы, особенно карст), геоэкологические условия (экогеохимия геологической среды, техногенные условия). Наиболее опасный процесс – техногенный карст [51]. Несмотря на десятки проведенных специальных работ данный природно-антропогенный процесс мало изучен; специфика этой разновидности карста – его развитие в зоне непосредственного воздействия технической деятельности. Происходят процессы отседания земной поверхности над отработанными рудниками, скорость развития деформации изменяется от 10–12 до 252 мм в год. На рудниках ВКМКС в разные годы отмечались аварии, связанные с техногенным карстом, различные по масштабам проявления. Одним из примеров катастрофического проявления природно-антропогенных процессов является провал на шахтном поле БКРУ-3. Провал произошел в июле 1986 г. и сопровождался взрывом метана и выбросом породы. Образовался провал с первоначальными размерами в плане 40х80 м, сейчас его размеры составляют более 200х150 м. В результате поступления пресных и слабоминерализованных вод в рудник происходило растворение солей и образование соляного техногенного карста. Объем выщелоченного купола составил более 630000 м³. В октябре 2006 г. на одном из участков БКПРУ-1 было обнаружено увеличение притока рассола. Спустя 10 дней приток рассола достиг 1200 м³ в час. После неудачной попытки возобновить работы рудник был затоплен. На территории БРУ-1 в районе фабрики технической соли произошел провал, размер в настоящее время составляет 446×328 м. 25 ноября 2010 г. на станции Березники, которая расположена над затопленным БРУ-1, произошёл новый провал. В результате был прекращён транзит через станцию Березники. В дальнейшем на территории ВКМКС произошло еще несколько крупных провалов.

Важнейшей задачей на территории ВКМКС в настоящее время является проведение комплексного инженерно-геологического и геоэкологического анализа с выделением и ранжированием зон горно-геологического и экологического

рисков на калийных рудниках и на всей территории ВКМКС и дальнейших мониторинговых исследований геологической среды, с целью прогнозирования и недопущения аварийных ситуаций. Особую роль играет решение проблемы прогнозирования геодинамических опасных зон на ранней стадии разработки калийных и других месторождений для обеспечения безопасной добычи полезных ископаемых. Основой методологии изучения и оценки геодинамической опасности (геодинамических активных зон) районов действующих и проектируемых калийных рудников может быть системный линеаментно-геодинамический анализ на основе дистанционных аэрокосмогеологических методов (АКГИ) в комплексе с геофизическими, структурно-геоморфологическими, гидрогеологическими и геохимическими методами [51, 86].

3.4.3.3. Техногенное воздействие на геологическую среду при поисках, разведке, добыче и транспорте нефти, газа и подземных вод

В мире насчитывается более 65 000 нефтяных и газовых месторождений всех размеров. Однако 94 % известной нефти сосредоточено менее чем на 1500 гигантских и крупных месторождениях (Li Guoyu, 2011, World Atlas of Oil and Gas Basins) (рис. 3.16).

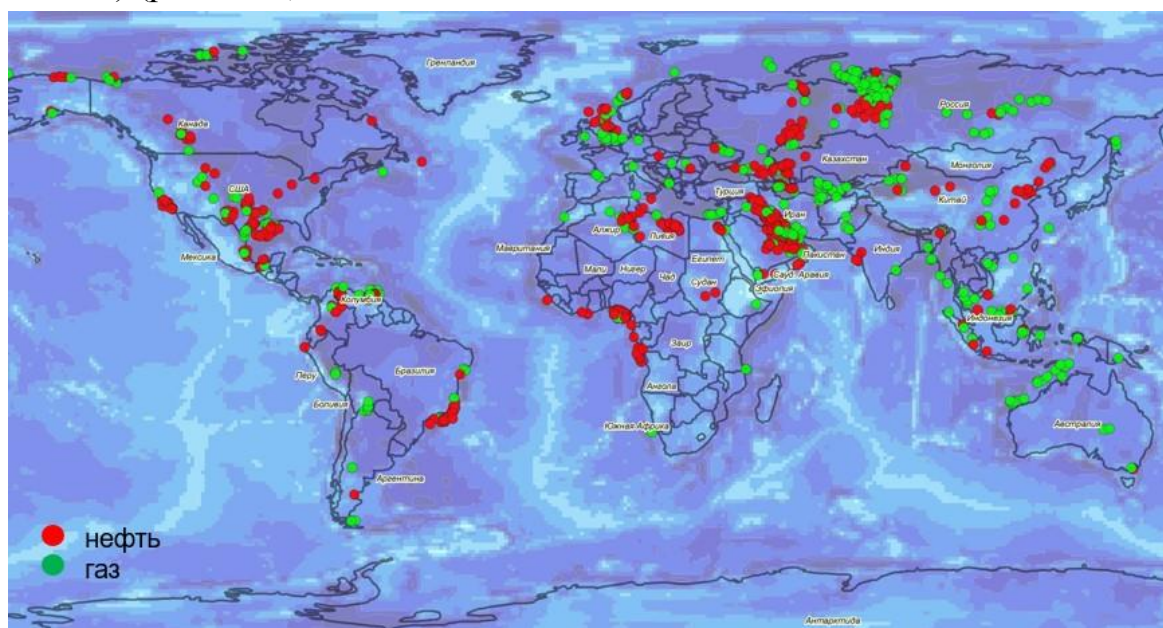


Рис. 3.16. Уникальные и крупные месторождения нефти и газа в мире [40]

На территории России разрабатывается 2352 нефтяных месторождения. Из них 12 уникальных и 83 крупных. Из 12 уникальных месторождений 5 находятся в Ханты-Мансийском АО, 3 – в Красноярском Крае, 3 – в Ямало-Ненецком АО и 1 – в Республике Татарстан. Крупнейшим нефтегазовым регионом Российской Федерации является Западная Сибирь. Здесь в Ямало-

Ненецком и Ханты-Мансийском автономных округах добывается значительная часть природного газа и нефти. Добыча нефти по регионам РФ выглядит следующим образом: Западная Сибирь – 60 %, Урал и Поволжье – 22 %, Восточная Сибирь – 12 %, Север – 5 %, Северный Кавказ – 1 % (рис. 3.17).

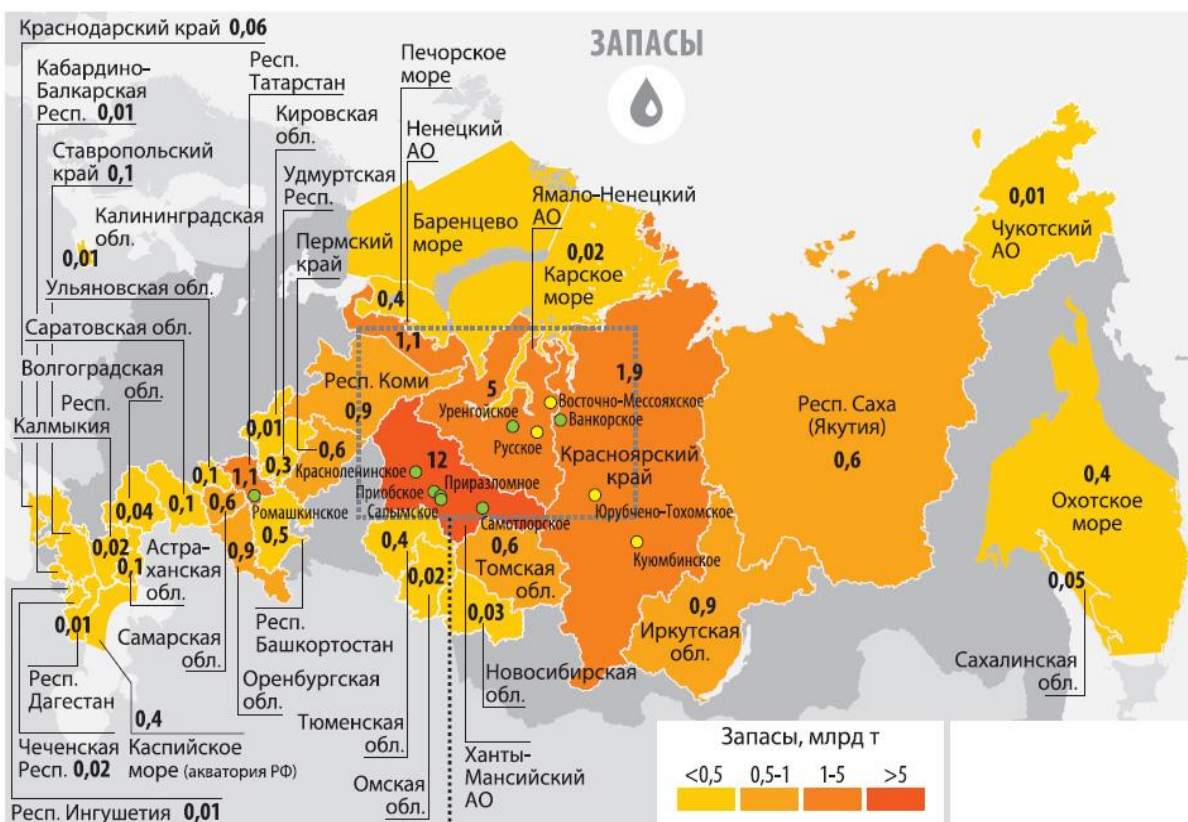
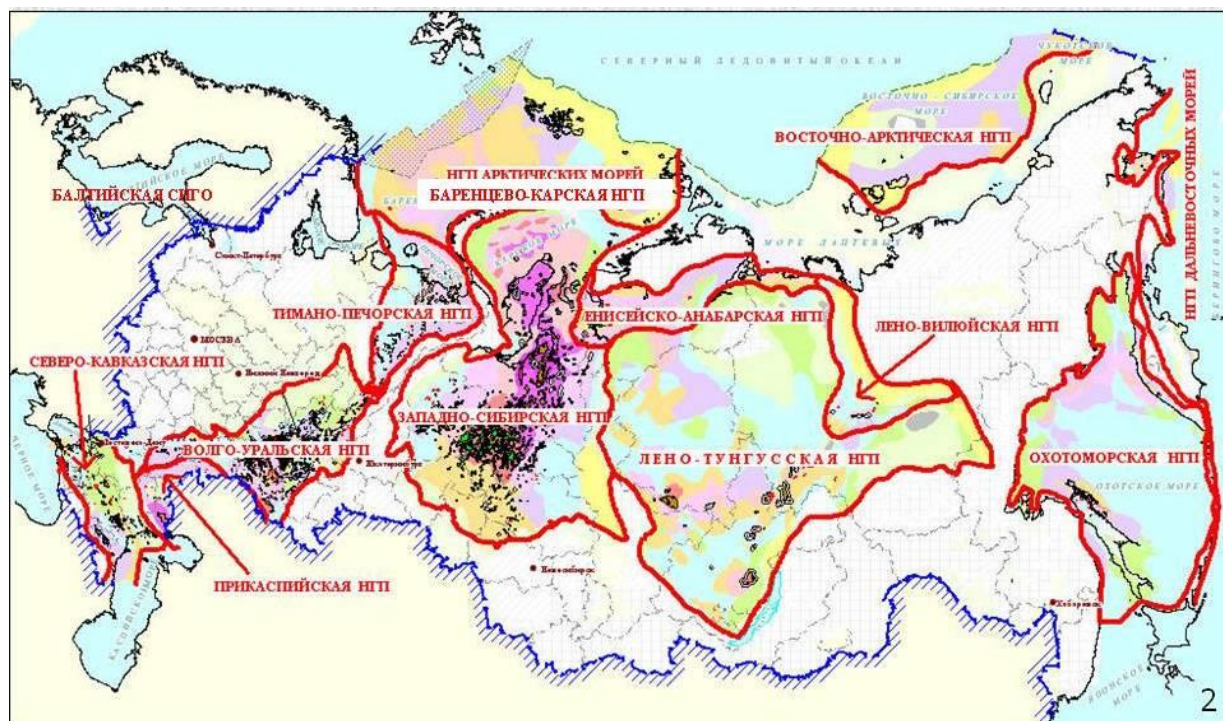


Рис. 3.17. Нефтегазоносные провинции и запасы нефти в России

<https://farbitis.ru/nature-of-russia/brief-information-about-the-oil-and-gas-provinces-of-russia-the-great-encyclopedia-of-oil-and-gas/> <http://forexneft.ru/neftyanaya-baza-dayushhaya-70-protstentov-dobychi-nefti/>

По добыче природного газа: Западная Сибирь – 87.3 %, Дальний Восток – 4.3 %, Урал и Поволжье – 3.5 %, Восточная Сибирь и Якутия – 2.8 %, Северный Кавказ – 2.1 %.

Геоэкология нефтегазоносных регионов (под которыми понимаются территории, перспективные на нефть и газ, где проводятся их поиски и разведка, осуществляется нефтегазодобыча или размещена нефтегазовая инфраструктура) – новая дисциплина в геоэкологии и экологическом недропользовании, которая связана с защитой окружающей среды этих территорий, занимающих огромные площади на планете Земля. Под влиянием нефтегазового техногенеза происходит изменение первоначального фонового состояния компонентов природной (в т.ч. геологической) среды нефтегазоносных регионов и их отдельных районов. Необходимо изучение этих процессов трансформации, а также исследования состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов; изучение изменений жизнеобеспечивающих ресурсов геосферных оболочек под влиянием природных и антропогенных факторов, их охрана, рациональное использование и контроль с целью сохранения для нынешних и будущих поколений людей продуктивной природной среды. Для этого необходимы знания о закономерностях и особенностях геоэкологических условий различных нефтегазоносных регионов [78].

На трансформацию природной среды влияют следующие технологические комплексы нефтяного производства [11]:

- освоение углеводородного сырья – территориальный нефтегазопромысловый комплекс;
- магистральных нефтегазопроводов;
- нефтегазоперерабатывающих предприятий;
- подземных хранилищ нефти и газа, нефтепродуктов;
- наземного (авто и железнодорожного) транспорта нефти;
- морской нефтегазоперерабатывающий;
- морского транспорта нефти.

Объекты нефтедобычи по степени воздействия на окружающую природную среду находятся в лидерах. При извлечении, сборе и подготовке нефти в окружающую среду кроме нефти попадают пластовые воды, попутный нефтяной газ и многие химические реагенты в составе буровых шлам. В процессе поисков, разведки и особенно при эксплуатации нефтяных месторождений перестроению подвергаются не только гидрогеологическая обстановка в продуктивных пластах, но и энергетические и гидрохимические условия выше-

лежащих газонефтеносных подземных вод. С ростом добычи нефти, подготовки и переработки углеводородного сырья нефтяной промысел превращается в источник загрязнения окружающей среды токсичными, химически стойкими, высокоподвижными компонентами глубинных флюидов, извлечённых на земную поверхность. Наибольшее негативное влияние испытывает гидросфера и, в частности, пресные подземные воды [111].

Техногенные процессы, связанные с добычей нефти и газа, представляют собой [11, 112]:

- падение внутрипластовых напоров, изменение напряженного состояния пород;
- изменение гидрогеологических условий – замещение извлекаемой нефти водой, усиление водообмена, образование новых горизонтов, смешение вод; изменение уровней, уклона, скорости движения вод;
- вторичное изменение режима подземных вод, а также фильтрационные деформации пород вплоть до гидравлического разрыва водоупорных слоев в связи с законтурным и внутриконтурным заводнением;
- суффозия и связанные с ней просадки;
- выбросы газа, воды, твердых частиц в воздух;
- дегазация пород;
- поступление в атмосферу попутных газов;
- нефтяные пожары.

В России пробурены десятки тысяч скважин на нефть и газ. Интенсивно осваиваются новые регионы в Сибири и на Севере [140, 154, 155]. В районах нефте- и газодобычи происходит оседание земной поверхности. В условиях неглубокого залегания уровня грунтовых вод (0,5–2 м) локальное понижение земной поверхности вызывает повышение уровня воды и увеличение заболоченности.

Активизируются слабые землетрясения, спровоцированные длительной добычей жидких полезных ископаемых и закачкой вод. Например, в Татарстане установлена зависимость между интенсивной разработкой нефтяных месторождений и активизацией слабых землетрясений.

Наблюдается два вида техногенных изменений окружающей среды в районах нефтегазодобычи [16]: подземный и наземный. На территории нефтяных месторождениях происходит перепланировка рельефа, вырубка леса, нарушение почвенного и растительного покрова, разрыхление и уплотнение грунта, изменение условий поверхностного стока и инфильтрации в связи со строительством буровых площадок, прокладкой коммуникаций (трубопроводов, неф-

те- и газопроводов, дорог), сооружением отстойных котлованов для буровых растворов и промстоков. Фильтрация и неконтролируемый сброс отработанных буровых растворов из котлованов за пределы кустовых площадок сопровождается химическим загрязнением почвы и приповерхностной гидросферы, гибелью растительности.

Техногенная нагрузка на геологическую среду нефтепромыслов, как отмечают С. М. Костарев и Г. К. Михайлов, в Пермском Приуралье приводит к глубокому преобразованию подземной гидросферы, активизации восходящих перетоков глубинных флюидов [110]. Высокоминерализованные рассолы, нефть, сероводород являются опасными загрязнителями пресных поверхностных и подземных вод. Загрязняющие вещества поступают через дефекты глубоких скважин из мест прорыва высоконапорных нефтерассолопроводов. Источниками загрязнения являются также технологические установки сбора и подготовки нефти.

В результате разработки нефтяных месторождений и эксплуатации водозаборов наиболее существенным изменениям подвергается гидродинамическая обстановка. Формируются пьезометрические аномалии – как положительные (купола репрессии), так и отрицательные (воронки депрессии), размеры которых достигают 10–30 км по пласту, а на длительно разрабатываемых месторождениях – до 100 км [3].

Депрессии, возникающие в процессе разработки нефтяных залежей с поддержанием пластового давления путем заводнения, приводят к вертикальным перетокам флюидов и загрязнению пресных вод верхних горизонтов. Перетоки осуществляются как за счет негерметичности эксплуатационных и ликвидированных скважин, так и по трещинным зонам.

Подземные воды осадочных пород содержат огромные запасы водорастворенных газов. Бурение поисковых и разведочных скважин ведет к разгазированию подземных вод. В герметически закрытых скважинах, вскрывших водонасыщенную часть пласта, скапливаются значительные объемы свободных газов. Стволы скважин оказываются заполненными газом до забоя.

Техногенное загрязнение природной среды нефтью и нефтепродуктами является одним из самых масштабных на Земле. Глобальный характер нефтяного загрязнения наиболее очевидно проявляется в Мировом океане. В него ежегодно поступает около 6 млн т нефтяных углеводородов, что составляет 0,23 % годовой мировой добычи нефти. В России из 300 млн т ежегодной добычи в природную среду попадает около 4 млн т нефти.

В Архангельской области наибольшие проблемы связаны с высоким уровнем загрязнения подавляющего большинства водоемов, которые принадлежат к бассейну Белого моря. Не на всех предприятиях имеются очистные сооружения, а те, что есть, не отвечают современным требованиям экологической безопасности. По данным Роспотребнадзора, только треть источников Архангельской области пригодна для получения питьевой воды. Загрязнения нефтепродуктами ликвидируются на больших площадях, которые длительное время занимали воинские части, морские базы, военнокосмические объекты [150].

По сравнению с загрязнением водных ресурсов загрязнение почвенного слоя и горных пород еще более опасно, т.к. удаление токсичных веществ из почвы и растений чрезвычайно затруднено. Так, содержание нефти в почвах Ямало-Ненецкого автономного округа в результате добычи, переработки и транспортировки нефти превышает допустимые нормативы в несколько раз. От загрязнения нефтепродуктами, большая часть которых попадает в воду при их транспортировке, серьезно страдают реки. Река Надым в результате нефтяного загрязнения полностью утратила промысловое значение, а реки Пур, Собь, Ево-Яха и другие рискуют лишиться нерестилищ в обозримом будущем [154, 155].

На территории России пробурено около 170 тыс. скважин **для добычи воды**, из которых 30 % бездействует. Эти скважины требуют ремонта или ликвидации, поскольку загрязняют подземные и поверхностные воды.

Очень высока степень воздействия на геологическую среду при откачке воды из горизонтов подземных вод. Объем изъятия подземных вод в России составляет в год 9–10 км³, к этому можно добавить откачку шахтных вод и вод из карьеров и разрезов – 2,8 км³. При откачке воды, превышающей пополнение, происходит понижение уровня подземных вод, образование обширных воронок депрессии и оседание земной поверхности, что провоцирует землетрясения. Уровень подземных вод в Санкт-Петербурге снизился на 50 м, в Москве – на 60 м. Всего в России в настоящее время выявлено свыше 100 участков истощения грунтовых вод [21, 25].

По данным Greenpeace, с 2003 г. на территории России наблюдается постоянный рост количества прорывов нефтяных трубопроводов, приводящих к разливам нефти. По оценке, обобщающей данные из публикаций профильных компаний и мнения экспертов, объемы разливаемой нефти в России могут достигать 20 млн т в год [8]. В будущем эти цифры будут увеличиваться в разы по мере устаревания трубопроводной инфраструктуры и таяния вечной мерзлоты.

4. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПРИРОДНЫХ И УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

4.1. Научные подходы к обоснованию, ранжированию и классифицированию современного экологического состояния природно-геологической среды и ее интегральной оценке

Проведение рационального недропользования на любых территориях требует объективной и комплексной экологической оценки состояния природной среды.

Интегральная оценка состояния природной среды и геологической среды в частности (природно-геологической среды) является сложнейшей геоэкологической задачей, находящейся в познавательной методико-методологической цепочке: системный подход → системный анализ → интегральная оценка. Сложность ее заключается в слабой разработанности научно-концептуальной базы геоэкологии и недостаточном пока еще практическом опыте в разных природно-территориальных, геолого-техногенных и ландшафтно-геохимических условиях.

В предыдущих главах сделано аналитическое обоснование для разработки научно-обоснованных подходов к интегральной оценке современного экологического состояния природно-геологической среды. На основе проведенного анализа установлено, что, поскольку единого интегрального показателя состояния экосистемы в природе не существует, оценка ее осуществляется на основе определенного числа наиболее представительных показателей с учетом вышеперечисленных критериев.

В настоящее время существует несколько подходов к обоснованию, ранжированию и классифицированию состояния геологической среды. Они базируются на *концепции предельно-допустимых концентраций* (ПДК) или других количественных оценках состояния геологической среды, на различных комплексных, качественных и композиционных оценках, рассматривая геологическую среду как природно-техногенную систему, которая *ранжируется на несколько категорий, градаций баллов* или классов экологического состояния. В многочисленных публикациях, посвященных данному вопросу, выделяется разное число таких градаций экологического состояния геологической среды (приповерхностной литосферы).

В мировой практике используется чаще всего *шестибалльная шкала оценки*. По шестибалльной шкале измененности верхних горизонтов литосферы (оценки ее состояния), выделяется неизменная, слабоизмененная, среднеизмененная, сильноизмененная, очень сильно измененная и катастрофически

измененная градации. При этом первая степень (класс состояния) характеризуется значениями прямых критериев ниже ПДК (фона), вторая степень – близкими значениями критериев оценки к ПДК или фону, остальные степени измененности превышают ПДК и фон.

В нормативно-методических и инструктивных геологических документах МПР РФ при проведении геоэкологических исследований и картографирования для экологической оценки геологической среды наиболее часто предлагается трех-, четырех- и пятибалльная шкала оценок.

Трехбалльная шкала рекомендуется ВСЕГИНГЕО (1990): в «Требованиях к ГЭИК масштаба 1:200 000–1:100 000» [161] с выделением трех категорий территорий с различным состоянием геологической среды – слабоизмененные, среднеизмененные и интенсивно измененные; в «Требованиях к ГЭИК масштаба 1:1 000 000–1:500 000» [163] с выделением трех градаций состояния геологической среды – удовлетворительное, условно удовлетворительное и неудовлетворительное.

Четырехбалльная шкала. В «Методических указаниях по составлению эколого-геологических карт масштаба 1:1 000 000–1:500 000» [130] рекомендуется выделять четыре градации состояния геологической среды – благоприятное, условно благоприятное, неблагоприятное и весьма неблагоприятное (в соответствии с «Критериями оценки экологической обстановки территорий» [117]). При этом за главный картографируемый показатель берется интегральный (суммарный балл, определяемый экспертным путем).

Пятибалльная шкала. По классификации ВСЕГЕИ [33] выделяется 5 категорий экологической ситуации: благоприятная, удовлетворительная, напряженная, кризисная, и катастрофическая.

Выделение всех классов состояний не имеет строгого обоснования принятых градаций по отношению к ПДК и фону, и по своей сущности все они являются «договорными». Как указывают В. Т. Трофимов и Д. Г. Зилинг [169], оптимальной на современном этапе является именно четырехранговая оценочная структура, разработанная для экосистем Б. В. Виноградовым [15], выделяющим четыре уровня природно-антропогенных экологических нарушений – нормы, риска, кризиса и бедствия. В соответствии с этим выделяются:

- класс удовлетворительного (благоприятного) состояния;
- класс условно удовлетворительного (относительно неблагоприятного) состояния;
- класс неудовлетворительного (весьма неблагоприятного) состояния;
- класс катастрофического состояния.

При использовании предложенного подхода самым важным и принципиальным является даже не столько число выделенных зон и классов состояний, а обязательность соответствия между собой состояния экосистемы в целом и ее абиотической составляющей. Только в этом случае обеспечивается эколого-геологическая оценка состояния объекта исследований.

Можно согласиться с данным подходом к эколого-геологическому районированию и оптимальности четырехранговой оценочной структуры, однако авторы в своих работах при выделении классов эколого-геологического состояния приводят различные значения прямых критериев геохимической оценки (ПДК), что затрудняет непосредственное практическое применение этих разработок.

Таким образом, на основе анализа существующих классификаций эколого-геологического состояния территорий по разным подходам и методикам наиболее оптимальной является классификация с четырехранговой оценочной структурой для оценки экологического состояния геологической среды (табл. 4.1).

4.2. Концептуальные основы и общая методология региональных геоэкологических исследований, картографирования и оценки

Геоэкологическое (эколого-геологическое) картографирование – основной метод исследования пространственного распределения объемов геологического пространства с различными эколого-геологическими условиями, основанный на рациональном сочетании частных прямых или косвенных наземных методов точечного или линейного изучения параметров эколого-геологических условий и методов (площадной) экстраполяции этих данных. Это процесс отображения на топографической основе определенного масштаба экологического состояния геологической среды (как многокомпонентного объекта с быстро изменяющимися во времени и пространстве свойствами) в естественных условиях и ее изменений, вызванных хозяйственной деятельностью.

К региональным геоэкологическим картам, которые составляются на федеральном и территориальном уровнях с целью обоснования рационального природопользования, охраны геологической среды и стабильного хозяйственного и социального развития территории (для субъектов РФ и их крупных районов) и которые составляются на федеральном и территориальном уровнях, можно отнести карты мелкого и среднего масштаба 1:1 000 000–1:200 000.

Таблица 4.1

Классификационное районирование эколого-геологического состояния территорий и оценка экологического состояния геологической среды в сопоставлении ее с основными классификациями

Основные классификации	Эколого-геологическое состояние (экологическая ситуация)					
	Классы состояния (категории, градации)					
Б. В. Виноградов, 1993	Экологические зоны для экосистем					
	нормы	риска		кризиса	бедствия	
МГУ, 1997, 2002 (В. Т. Трофимов и др.)	Классы состояния литосферы					
	Удовлетворительного (благоприятного) состояния	Условно удовлетворительного (относительно неблагоприятного) состояния		Неудовлетворительного (весьма неблагоприятного) состояния	Катастрофического состояния	
ВСЕГИНГЕО, 1990	Состояние ГС (категории территорий по состоянию ГС)					
	Удовлетворительное (слабоизмененное)	Условно удовлетворительное (среднеизмененное)		Неудовлетворительное (интенсивно измененное)		
ВСЕГИНГЕО, 1994	Состояние ГС					
	Благоприятное	Условно благоприятное		Неблагоприятное	Весьма неблагоприятное	
ВСЕГЕИ, 1995	Градации степени нарушенности ГС					
	Благоприятная (допустимая)	Удовлетворительная	Напряженная	Кризисная	Катастрофическая	
ИМГРЭ, 1999	Экологическая ситуация					
	Удовлетворительная (допустимая)		Напряженная (умеренно опасная)	Критическая (опасная)	Чрезвычайная (высокоопасная)	Экологическое бедствие (чрезвычайная)
ПГНИУ, 2014 (И. С. Копылов)	Эколого-геодинамическая ситуация (геодинамическая активность)					
	Очень низкая (стабильная)	Низкая (умеренно активная)	Средняя (повышенная)	Активная	Высокоактивная	Чрезвычайно высокоактивная
Классификационное районирование эколого-геологического состояния геологической среды (в данном проекте)	Классы состояния ГС и экологическая ситуация					
	Экологической нормы (удовлетворительное состояние)		Экологического риска (условно удовлетворительное состояние)	Экологического кризиса (неудовлетворительное состояние)	Экологического бедствия (катастрофическое состояние)	

Как отмечено выше, несмотря на значительный опыт проведения геоэкологического картографирования в России, существующие методики составления геоэкологических карт разработаны недостаточно; до сих пор отсутствуют единые принципы составления итоговых геоэкологических карт, унифицированные методики их составления, а также типовые геоэкологические легенды.

На основании анализа теоретических и методических разработок и многолетнего личного опыта геоэкологических исследований различных частей России – Сибири, Урала, Приуралья, Севера, Дальнего Востока, а также Средней Азии – И. С. Копыловым разработана *концепция регионального геоэкологического изучения и картографирования* территорий применительно к платформенным континентальным регионам [57, 63]. Основной методологической задачей является картографическое моделирование состояния природно-геологической среды, представляющее собой процесс создания информационно-картографической модели – атласа карт геологического и экологического содержания, которые позволяют анализировать состояние среды в целом и по отдельным компонентам, прогнозировать их изменение во времени и пространстве.

Основными принципами концепции регионального геоэкологического картографирования являются:

1) системный подход к проведению картографирования, предполагающий сопряженное выполнение соподчиненных работ для решения задач на разных иерархических уровнях: обзорного (масштаб 1:2 500 000–10 000 000), субрегионального (1:1 000 000–1:1 500 000), регионального (1:500 000–1:200 000), местного (1:50 000–1:25 000 и крупнее);

2) оптимизация – обеспечивается минимально достаточным объемом проводимых исследований и данных (количественный аспект) и правильностью выбора объектов исследований, маршрутов или точек наблюдений (качественный аспект);

3) комплексность и приоритетность, предполагающие изучение всех компонентов природно-геологической среды, с применением широкого комплекса методов, с приоритетом по геодинамическим и геохимическим методам;

4) объективность выполнения работ, обеспечиваемая построением объективной картографической модели, достоверно и адекватно отражающая геоэкологическую обстановку. Достигается на организационном и практическом уровнях проведения работ;

5) критериальность и экологичность картографирования, обуславливающиеся объективными критериями и показателями состояния природно-геологической среды на основе системы экологических норм;

6) результативность и динамичность, предполагающие унификацию, систематизацию данных, формирование информационных банков; моделирование

на основе постоянно пополняющихся баз данных, позволяющих отражать современное состояние природно-геологической среды;

7) многофункциональность системы, заключающаяся в способности выполнять функции информации, оценки, прогноза.

Картографическое моделирование состояния геологической среды представляет собой процесс создания информационно-картографической модели – атласа (в том числе электронного) параметрических, аналитических и синтетических карт геологического содержания, которые позволяют анализировать состояние геологической среды в целом и по отдельным компонентам, прогнозировать их изменение во времени и пространстве.

Методологическое обоснование построения геоэкологической карты заключается в следующем.

Геоэкологическая карта представляет собой графическое изображение геологической среды, в составе которой выделяются четыре основных компонента: *рельеф* (поверхность литосферы), *породы и почвогрунты*, *природные воды* (подземные и поверхностные) и *формы проявления экзогенных геологических процессов*. В совокупности они составляют фоновую геологическую, гидрогеологическую и ландшафтную основу геоэкологической карты. Ландшафтные подразделения выделяются по комплексу признаков, ведущим из которых является геоморфологический признак – рельеф, с которым коррелируются все остальные. Гидрогеологические подразделения выделяются на геологической (литолого-стратиграфической) основе.

Ведущую роль в формировании ландшафтов, гидрогеологических и геохимических полей, экстремальных состояний объектов играют *геодинамические условия*, обусловленные глубинным строением земной коры и степенью активности современных тектонических движений. Геодинамические активные зоны земной коры могут влиять на живые организмы, создавать при этом так называемые геопатогенные зоны. Методически традиционная геоэкологическая карта строится следующим образом. Разрабатываются легенда и критерии основной и дополнительной геоэкологической информации, способы их отображения.

Основными элементами геоэкологической карты являются:

– ландшафты с фоновой геохимической характеристикой и водоносные комплексы (изображаются наиболее выразительным средством – цветом);

– геодинамические и гидрогеодинамические зоны, выделенные по морфонеотектоническому и структурно-гидрогеологическому анализам (изображаются штриховкой);

– геохимические и гидрогеохимические аномалии с градацией по экологической значимости (изображаются изолиниями или контурами компонентов, превышающих предельно допустимые концентрации).

Дополнительными элементами геоэкологической карты являются:

– критерии оценки геохимической и геодинамической устойчивости ландшафтов, модуль техногенной нагрузки (показываются крапом);

– природные неблагоприятные объекты и процессы (изображаются другими знаками и линиями);

– техногенные объекты и источники воздействия на геологическую среду (изображаются другими знаками и линиями).

В последние годы во всех видах геологического картографирования, в т.ч. и геоэкологическом, все более широкое применение находят методы автоматизации на основе компьютерных технологий картографирования. Особенно широко внедряются технологии географических информационных систем (ГИС технологии), которые обеспечивают качественно новые возможности использования геоэкологической информации.

Геоинформационное картографирование – это автоматизированное создание и использование карт на основе ГИС, а также баз картографических данных и знаний (А. М. Берлянт [5]). Электронные карты обладают рядом преимуществ перед традиционными «бумажными», основными из которых являются большая информативность, многовариантность, оперативность, возможность создания картографических моделей нового типа (трехмерные, динамические, мультимедийные, звуковые и др.). При геоэкологическом геоинформационном картографировании территорий в настоящее время используются программные средства Arc View GIS и Arc GIS с векторными покрытиями и координатными привязками исследуемых территорий.

Разработанные принципы картографирования и методика построения геоэкологической карты позволяют применять их как универсальную схему картографического моделирования состояния геологической среды для различных платформенных регионов, способствуют эффективности изучения литосферы и служат концептуальной основой регионального геоэкологического картографирования и информационной базой природоохранной политики.

Схема формирования системы регионального геоэкологического изучения и картографирования состоит из четырех основных блоков – подсистем, которые являются также методологическими этапами ее формирования (рис. 4.1).

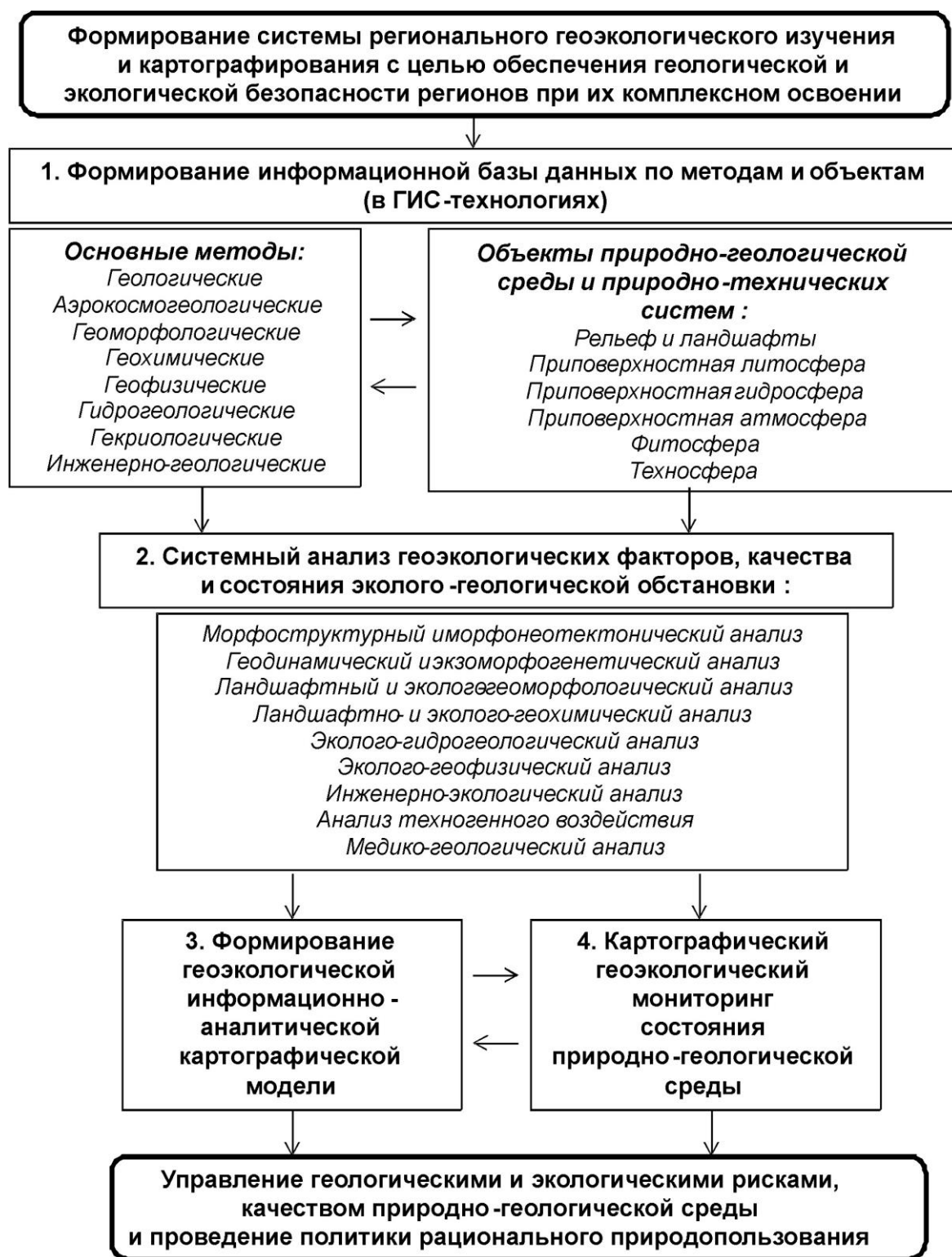


Рис. 4.1. Модель концепции региональных геоэкологических исследований и картографирования [63]

1) Формирование информационной базы данных по методам и объектам в ГИС-технологиях. Основными методами являются геологические и космогеологические, геоморфологические, геодинамические, геохимические, геофизические, гидрогеологические, инженерно-геологические; основными объектами – приповерхностные литосфера, рельеф и ландшафты, гидросфера, атмосфера, фитосфера, техносфера.

2) Системный анализ геоэкологических факторов, качества и состояния эколого-геологической обстановки, установление причинно-следственных связей – морфоструктурный, морфонеотектонический, линейно-геодинамический, экзоморфогенетический, эколого-геоморфологический, ландшафтно-эколого-геохимический, эколого-геофизический, эколого-гидрогеологический, инженерно-экологический, техногенного воздействия, медико-геологический анализы.

3) Формирование геоэкологической информационно-картографической модели с применением ГИС-технологий для решения задач федерального и регионального уровня. Это основной картографический этап – создание параметрических, аналитических, синтетических карт геоэкологического содержания; разработка критериев оценки состояния геологической среды, районирование и ранжирование экологических обстановок. Составляется комплект региональных геоэкологических карт, к которым относятся карты мелкого и среднего масштаба (1:1 000 000–1:200 000), при этом применение ГИС позволяет трансформировать их в любой масштаб карт (с учетом кондиционности фактического материала).

Итоговая модель – геоэкологическая карта в четырехлистном варианте, отображающая отдельно поверхностную и глубинную обстановки, т.е. ландшафтную, литосферную, гидросферную составляющие и общую степень экологического состояния:

- **эколого-ландшафтно-геохимическая карта** (с выделением ландшафтных комплексов, геохимических аномалий, геологических процессов, элементов техносферы и др.);

- **эколого-геодинамическая карта** (с выделением геодинамических активных зон и сейсмоопасных участков);

- **гидрогеоэкологическая карта** (с выделением водоносных комплексов, участков различной степени защищенности подземных вод, гидрогеохимических аномалий);

- **интегральная карта экологической оценки** состояния природно-геологической среды (на основе системы экологических норм по 4 классам: нормы, риска, кризиса, бедствия).

4) Картографический геоэкологический мониторинг состояния природно-геологической среды с целью прогноза изменения эколого-геологической обстановки, опасных процессов и зон (объектов) с повышенным социально-экологическим риском вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

В конечном итоге вся система направлена на выполнение основной цели – геоинформационное обеспечение пространственными геоэкологическими данными для устойчивого и безопасного развития территорий, управления геологическими и экологическими рисками и качеством природно-геологической среды при проведении на федеральном и региональном уровнях политики рационального природопользования, обеспечения геологической и экологической безопасности территорий и городов [57, 63].

4.3. Принципы и критерии интегральной оценки современного экологического состояния природно-геологической среды

Интегральная оценка современного экологического состояния геологической среды и районирование территории по экологическому состоянию природной среды (или интегральная геоэкологическая оценка) является составной частью региональных геоэкологических исследований и картографирования, включает системный анализ природно-геологических и техногенных факторов, а также ряд методических приемов, связанных классифицированием и ранжированием по экологическому состоянию геологической среды и других компонентов природной среды (природно-геологической среды).

На схеме, отображенной на рис. 4.2, представлена общая методология интегральной оценки экологического состояния геологической среды (интегральная геоэкологическая оценка).

Комплекс исследований по геоэкологической оценке территорий начинается с выявления основных геоэкологических проблем конкретной территории и системного анализа природно-геологических, а также техногенных факторов формирования эколого-геологических условий. Общая цель – управление геологическими и экологическими рисками, качеством природно-геологической среды, проведение политики рационального природопользования.

Методология геоэкологической оценки включает следующие основные блоки (методологические этапы):

- анализ природно-геологических и техногенных факторов формирования эколого-геологических условий;
- разработка критериев, принципов типизации природно-геологической среды;

- выбор комплекса оценочных критериев и показателей оценки экологического состояния;
- выделение картируемых и оценочных таксонов;
- разработка шкалы балльной оценки и технологий оценки;
- создание комплекта карт, характеризующих состояние компонентов природно-геологической среды;
- интегральная оценка и районирование территории по экологическому состоянию природно-геологической среды (интегральная геоэкологическая оценка).



Рис. 4.2. Общая методология интегральной оценки экологического состояния геологической среды (интегральная геоэкологическая оценка) [57]

Анализ и оценка геоэкологического состояния природно-геологической среды осуществляется на разных уровнях природопользования на основе соответствующего масштаба исследований – региональном (крупный природно-территориальный комплекс с площадью обычно от нескольких десятков тыс. км² и крупнее, экономический регион или субъект РФ; масштаб исследований – 1:500 000–1 1 000 000), зональном (природно-территориальный комплекс с площадью обычно от нескольких тысяч до нескольких десятков тыс. км², муниципальный район, городской округ и др.; масштаб исследований – 1:100 000–1 200 000), локальном (любая территория, обычно с площадью менее одной тыс. км²; масштаб исследований – 1:25 000–1 50 000).

На регионально-зональном уровне для каждого региона должен быть разработан свой специфический комплекс критериев оценки геоэкологического состояния природной среды с учетом природно-геологических условий, хозяйственного освоения и видов техногенной нагрузки. Но оценка должна производиться по единым принципам.

Во-первых, должны быть установлены основные геоэкологические проблемы региона и проведен системный анализ природно-геологических и техногенных факторов. Во-вторых, должен быть разработан комплекс оценочных критериев и показателей. В-третьих, проведено классифицирование экологического состояния природно-геологической среды. В-четвертых, выделены оценочные таксоны (участки). В-пятых, разработана шкала экспертной (балльной) оценки. В-шестых, проведены расчеты оценочных баллов по всем компонентам природной среды и показателям на каждом участке и проведено районирование территории по геоэкологическому состоянию (интегральная геоэкологическая оценка) [62].

Методологию интегральной оценки современного экологического состояния геологической среды целесообразно рассмотреть на конкретном примере с различными природными и урбанизированными условиями. К такой территории можно отнести один из субъектов РФ – Пермский край, имеющий разнообразные природные и техногенные условия и достаточно хорошо изученный геоэкологическими исследованиями.

4.4. Интегральная оценка современного экологического состояния геологической среды (на примере природно-урбанизированной территории Приуралья и Урала – Пермского края РФ)

Интегральная оценка современного экологического состояния геологической среды представлена на примере природно-урбанизированной территории Приуралья и Урала – Пермского края РФ.

Пермский край – один из крупнейших регионов в России, по площади (160 236 км²) занимает второе место в Европейской России и является самым крупным в Приволжском ФО. Характеризуется большим разнообразием природных условий и ресурсов и относится к одному из самых экологически неблагоприятных регионов страны.

4.4.1. Основные геоэкологические проблемы

Проблема охраны окружающей среды в Пермском крае в последние годы приобрела исключительно важное значение в связи с глобальным изменением экологической обстановки, развитием чрезвычайных ситуаций. Во многом это связано с усиливающимся синергетическим воздействием техногенеза и геологических факторов, особенно геодинамики на окружающую среду. Геодинамика и техногенез представляют собой два мощных современных фактора планетарного и регионального уровней, которые приводят к глобальному изменению окружающей среды обитания человека и геологической среды в частности [51].

Геоэкологические проблемы, а вместе с ними и тесно связанные гидро-геологические и инженерно-геологические проблемы Пермского региона, как и для всей территории России, обусловлены факторами техногенного, природно-техногенного и природно-геологического воздействия на окружающую среду:

1) химическое загрязнение в разной степени всех природных сред (воздуха, почв, поверхностных и подземных вод), обусловленное высокой степенью техногенной нагрузки, особенно в городских и промышленных агломерациях (комплексы нефтеперерабатывающей, металлургической, машиностроительной, химической, целлюлозно-бумажной промышленности);

2) нарушения природных сред и ландшафтов интенсивной хозяйственной деятельностью горнодобывающей промышленности (особенно в солеродных, нефтегазовых и угольных районах). Особые проблемы связаны с разработкой крупнейшего в мире Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС) [47, 90], последствиями разработки Кизеловского угольного бассейна

(Куб) [76, 81], разработкой нефтяных и газовых месторождений (на территории известно более 230 месторождений, из них 180 месторождений в распределенном фонде) [88, 101, 102];

3) накопление огромного количества промышленных и бытовых отходов, которые являются постоянными источниками многих видов загрязнений природных сред. Основная проблема – использование (утилизация) накопленных отходов и сокращение объемов поверхностного складирования вновь образующихся отходов;

4) радиоактивное загрязнение природных сред, обусловленное естественными и техногенными источниками радиоактивного излучения (в т.ч. подземными ядерными взрывами);

5) нарушение лесных и земельных ресурсов, деградация лесных массивов, связанная с деятельностью лесозаготовительного и деревообрабатывающего комплекса;

6) загрязнение почв и водоемов ядохимикатами деятельностью агропромышленного комплекса;

7) изменение гидрогеологических условий: преобразование природного гидрохимического и гидродинамического режима, истощение запасов и загрязнение пресных подземных вод и др.;

8) изменение инженерно-геологических условий: образование на подрабатываемых пространствах зон трещиноватости, мульд сдвижения, воронок обрушения, провалов. Активизация геодинамических процессов. Серьезное влияние на экологическую обстановку при определенных обстоятельствах могут оказывать опасные техноприродные процессы (ОПТП);

9) развитие природных и природно-техногенных, экзогенных геологических процессов – карста, суффозии овражной эрозии, оползней, подтопления, заболачивания, комплекса процессов, связанных с переработкой берегов водохранилищ, геокриологических и различных гравитационных процессов в горной местности;

10) развитие геодинамических активных зон, их неблагоприятное воздействие на геологическую среду и биосферу [48, 50, 53, 56, 83, 87];

11) развитие чрезвычайных ситуаций природного и природно-техногенного характера с экологическими последствиями [51, 89];

12) геоэкологические проблемы городов [91].

В настоящее время в крае лишь небольшие площади на севере и востоке условно можно отнести к природным ландшафтам. Огромные территории занимают техногенно измененные и техногенно образованные ландшафты (сели-тебные и промышленные зоны, сельскохозяйственные земли, транспортные коммуникации, карьерные поля, золоотвалы, шламоотстойники). Многие из них являются прямыми источниками загрязнения природно-геологической среды. Сформировались огромные по территории комплексные аномальные гео-химические поля по многим компонентам – подземным и поверхностным во-дам, донным осадкам, почвенному покрову. На изученной части территории комплексные гидрогеохимические аномальные зоны занимают площадь 78200 км², составляя 48,7 % всей территории края; комплексные литогеохимические аномальные зоны занимают площадь 67993 км², составляя 42,3 %.

Результатом антропогенного воздействия явилось нарушение и загрязне-ние огромных площадей земли, интенсивное загрязнение подземных вод, рек и водоемов; существенное сокращение потенциала биологических ресурсов: лес-ных площадей, численности животных и птиц, рыбопродуктивности угодий, что также влияет на социально-экономическую сферу районов и вызывает де-мографические последствия среди населения, влияет на здоровье людей. Схема районирования Пермского края по техногенной нагрузке показана на рис. 4.3 [51].

Трудно оценить влияние тех или иных факторов техногенных или при-родных процессов или их результатов на здоровье людей или на биосферу в це-лом, поскольку специальных исследований в региональном плане в Пермском крае не проводилось. Однако рис. 4.4 дает наглядное представление о заболева-емости населения в сравнении с геолого-экологическими условиями.

Наибольшее число заболеваний у всех категорий населения края отмеча-ется именно в зонах геохимических аномалий, геодинамических активных зон, формирующих территории с неблагоприятными, весьма неблагоприятными экологическими условиями.

Также достаточно сложно оценить в настоящее время в Пермском крае региональную направленность изменения природной среды. Достоверность этой оценки должна основываться на длительных мониторинговых и режимных наблюдениях по всем ее компонентам на всей территории

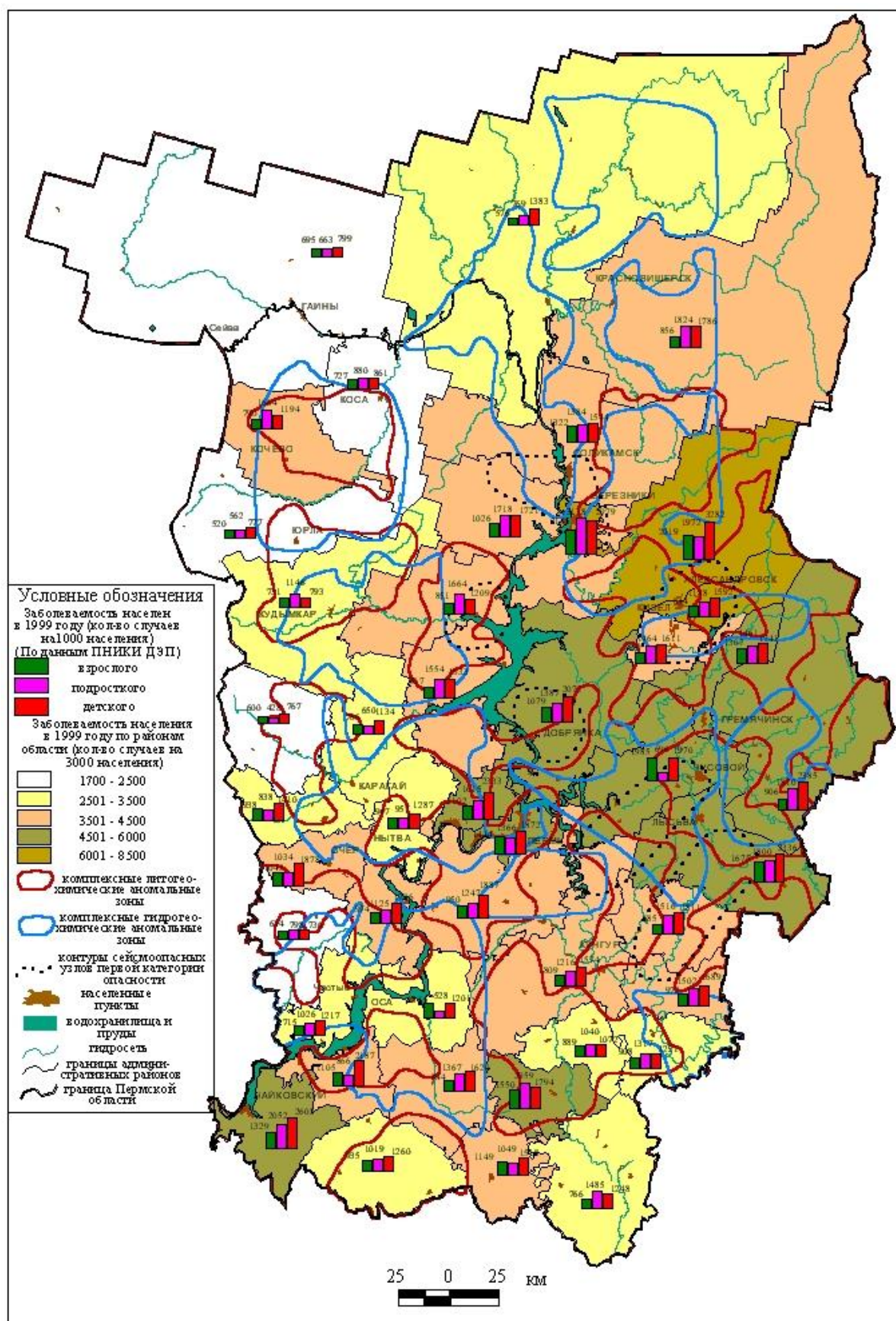


Рис. 4.4. Схема заболеваемости населения Пермского края [52]

совмещенная с основными аномальными геохимическими зонами

Существующая сеть мониторинга охватывает лишь ограниченные участки наблюдений за подземными и поверхностными водами, а также ЭГП на во-

дохранилищах. Данные этих наблюдений, а также нерегулярные периодические наблюдения свидетельствуют в основном об ухудшении качества вод, об истощении их запасов, реже отмечается некоторая стабильность. Мониторинговых долговременных исследований по почвам, донным осадкам, растительности, снегу в крае не проводилось, и имеющиеся эпизодические сведения не несут достаточной информации об этих объектах.

4.4.2. Методика интегральной оценки современного экологического состояния природно-геологической среды

В основе методики комплексной оценки геоэкологического состояния природно-геологической среды интегральным способом лежали методические подходы ВСЕГИНГЕО [160–162] и авторские разработки по результатам региональных геоэкологических исследований и картографирования масштаба 1:200 000–1:500 000, выполненных ФГУП «Геокарта-Пермь» (отв. исп. И. С. Копылов) и Пермским госуниверситетом (ПГНИУ).

Методика интегральной оценки современного экологического состояния геологической и других компонентов природной (природно-геологической) среды территории Пермского края включала [63, 69]:

1) *Выбор комплекса оценочных критериев и показателей*

Основными объектами оценки геоэкологического состояния определены компоненты природной среды: литогенная основа, ландшафты, почвы, донные осадки, подземные воды, поверхностные воды и приповерхностная атмосфера, по которым выделены 10 (11 – для сельскохозяйственных районов) наиболее важных показателей (табл. 4.2):

- сейсмичность в баллах (по карте общего сейсмического районирования РФ);
- геодинамическая активность (плотность линеаментов и трещин, балл – по данным современного дешифрирования материалов аэро- и космической съемки – МАКС и линеаментно-геодинамическому анализу);
- пораженность территории ЭГП в % (карст, овраги, оползни, осыпи, обвалы, болота и др. – по данным геоэкологических, гидрогеологических, инженерно-геологических съемок и современного дешифрирования МАКС);
- степень нарушенности ландшафтов (в % – по данным современного дешифрирования МАКС);
- химическое загрязнение почв (по ПДК в зависимости от класса опасности и площади – по данным геоэкологических, геохимических съемок);
- радиоактивное загрязнение почв (мкр/час – по данным геоэкологических, геохимических съемок и официальным данным);

- химическое загрязнение донных осадков (по ПДК в зависимости от класса опасности и площади – по данным геоэкологических, геохимических съемок);
- химическое загрязнение подземных вод зоны активного водообмена (по ПДК в зависимости от класса опасности и площади – по данным геоэкологических, геохимических съемок);
- химическое загрязнение поверхностных вод (по ПДК – по данным геоэкологических, геохимических съемок и официальным данным);
- загрязнение поверхностных вод пестицидами (для сельскохозяйственных районов – по официальным данным);
- комплексное загрязнение воздуха (модульное количество выбросов ЗВ, т/км²; по официальным данным из докладов о состоянии окружающей среды субъектов РФ, городских и муниципальных образований и расчетам).

Таблица 4.2

Критерии оценки состояния геологической и других компонентов природной среды (И. С. Копылов, 2014 [63])

Компоненты природной среды	№ ком-понента	Геоэкологические параметры и процессы (показатели)	Экологическая оценка (цифры в скобках – оценочные баллы)			
			Допустимое	Умеренно опасное	Опасное	Чрезвычайно опасное
Литогенная основа	1	Сейсмичность в баллах	<5 (1)	5-6 (2, 3, 4)	7-8 (5, 6, 7)	>8 (8, 9, 10)
	2	Геодинамическая активность (плотность линейментов и трещин), балл	1-2 (1)	3 (2, 3, 4)	4 (5, 6, 7)	5-6 (8, 9, 10)
	3	Пораженность территории ЭГП в % (карст, овраги, оползни, осыпи, обвалы, болота и др.)	<5 (1)	5-20 (2, 3, 4)	20-30 (5, 6, 7)	>30 (8, 9, 10)
Ландшафты	4	Степень нарушенности ландшафтов (в %)	Не измененные <10 (1)	Измененные 10-25 (2, 3, 4)	Измененные 25-50 (5, 6, 7)	Измененные >50 (8, 9, 10)
Почвы	5	Химическое загрязнение (по ПДК в зависимости от класса опасности и площади). Элементы: 1 класс опасности 2 класс опасности 3 класс опасности	Допустимое <1 <1 <1 (1)	Умеренно опасное 1-1,5 1-2,5 1-5 (2, 3, 4)	Опасное 1,6-3 2,6-10 5,1-20 (5, 6, 7)	Чрезвычайно опасное >3 >10 >20 (8, 9, 10)
	6	Радиоактивное загрязнение (мкр/час)	Допустимое <16 (1)	Умеренно опасное 16-25 (2, 3, 4)	Опасное 26-35 (5, 6, 7)	Чрезвычайно опасное >35 (8, 9, 10)
Донные осадки	7	Химическое загрязнение (по ПДК в зависимости от класса опасности и площади). Элементы: 1 класс опасности 2 класс опасности 3 класс опасности	Допустимое <1 <1 <1 (1)	Умеренно опасное 1-1,5 1-2,5 1-5 (2, 3, 4)	Опасное 1,6-3 2,6-10 5,1-20 (5, 6, 7)	Чрезвычайно опасное >3 >10 >20 (8, 9, 10)
Подземные воды	8	Химическое загрязнение подземных вод зоны активного водообмена (ПДК): 1-2 класс опасности 3-4 класс опасности	Допустимое <1 <1 (1)	Умеренно опасное 1-5 1-50 (2, 3, 4)	Опасное 5-10 5-100 (5, 6, 7)	Чрезвычайно опасное >10 >100 (8, 9, 10)

Поверх- ностные воды	9	Хим. загрязнение поверх- ностных вод (ПДК): 1-2 класс опасности 3-4 класс опасности	Допустимое < 1 (1)	Умеренно опасное 1-5 1-50 (2, 3, 4)	Опасное 5-10 5-100 (5, 6, 7)	Чрезвычайно опасное >10 >100 (8, 9, 10)
	10	Загрязнение поверхностных вод пестицидами	Допустимое (1)	Умеренно опасное (2, 3, 4)	Опасное (5, 6, 7)	Чрезвычайно опасное (8, 9, 10)
Приповерх- ностная атмосфера	11	Комплексное загрязнение воздуха (модульное количество выбросов ЗВ, т/км ²)	Невысокое <2 (1)	Среднее 2-4 (2, 3, 4)	Высокое 4-10 (5, 6, 7)	Очень высокое >10 (8, 9, 10)
Суммарная оценка состояния природной среды и ее компонентов			Благопри- ятное (<20)	Условно благоприятное (20-40)	Неблаго- приятное (40-60)	Весьма неблагоприятное (>60)

2) *Классифицирование геоэкологического состояния*

Применяется четырехранговая оценочная структура, разработанная для экосистем Б. В. Виноградовым [15] – наиболее оптимальная на современном этапе, как указывают В. Т. Трофимов и др. [169].

Выделяется четыре уровня экологических нарушений – нормы, риска, кризиса и бедствия, соответствующие классам – благоприятного, условно благоприятного, неблагоприятного и весьма неблагоприятного экологического состояния.

3) *Выделение картируемых и оценочных таксонов*

Оценка геоэкологического состояния природной среды территории Пермского края произведена на основе эколого-гидрографического районирования, или «бассейнового» подхода. Наиболее объективной территорией для проведения экологической оценки, как отмечают многие исследователи, является водосборный бассейн. Академик Н. М. Страхов [156] отмечал, что мобилизация веществ осуществляется лучшим образом на водосборных площадях. В соответствии с «Методическими указаниям [130]» объектом для экологической оценки являются бассейны поверхностного и подземного стока, границами их являются водоразделы и основные дрены.

В качестве основных таксонов региональной оценки (основной картируемый масштаб 1:500 000) выделены участки – бассейны рек 3-4 порядка (по В. П. Философову [184], согласно которому 1 порядок у наименьших водотоков; сливаясь, они образуют водоток 2-го порядка, два водотока 2-го порядка образуют водоток 3-го порядка и т.д.). Установлено 320 участков с площадями 300–700 (в среднем 500) км², для которых производилась оценка геоэкологического состояния. Пример схемы оценочных таксонов для геоэкологической оценки по карте эколого-гидрографического районирования Пермского края приведен на рис. 4.5.

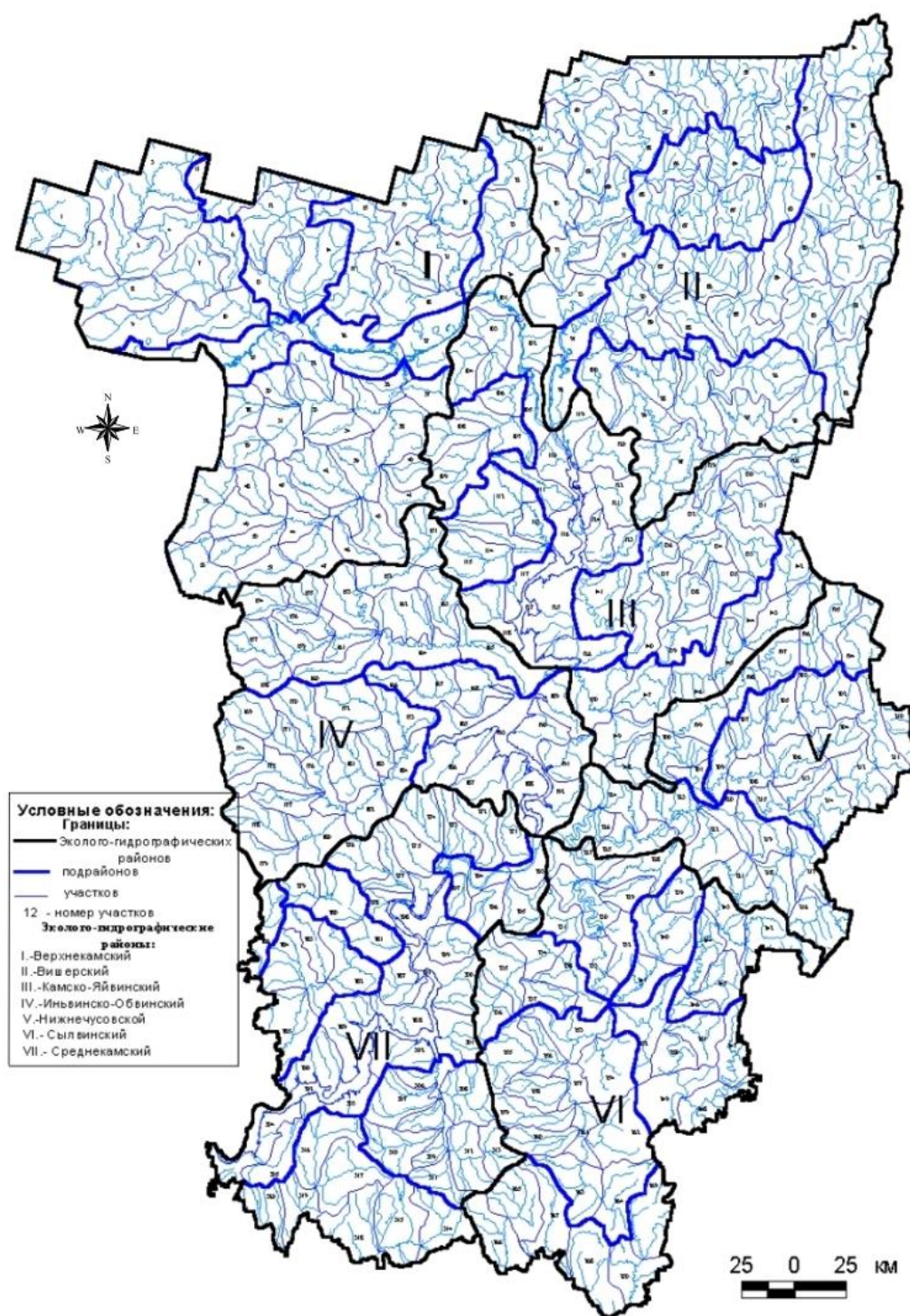


Рис. 4.5. Эколого-гидрографическое районирование территории Пермского края (схема оценочных таксонов для геоэкологической оценки) [51]

Бассейновый подход с использованием в качестве картируемого и оценочного таксона природного физико-географического объекта (бассейн реки) позволяет производить наиболее объективную оценку. По сути, это вечный таксон, который не будет изменен ни при каких обстоятельствах (исключая какие-либо катастрофы). Построенные карты-модели этим способом легко сопоставлять на соседних территориях. Также целесообразно использовать оценоч-

ную структуру бассейнов рек для разных масштабов карт. Например, для оценки территории в масштабе 1:200 000 необходимо использовать в основном бассейны рек 2 порядка, а для масштаба 1:1 000 000 в основном бассейны рек 4-5 порядка и т.д.

4) *Разработка шкалы балльной оценки и технология оценки*

Установление значений ингредиентов в баллах

Учитывались интенсивность проявления каждого показателя по величине и его площадное распространение на участках. Например, если на участке ни один из элементов не превышал единицы предельно допустимых концентраций (ПДК), то по данному критерию участку присваивался 1 балл (норма). Если элемент превышал ПДК, определялось его соответствие группам экологических классов: 2–4 (риска), 5–7 (кризиса), 8–10 (бедствия), при этом минимальный балл присваивался при точечном распространении (менее 10 % площади), средний – при локальном (10–30 %), максимальный – при площадном (более 30 %).

Расчет картографируемого интегрального показателя по сумме баллов всех критериев на оценочных участках

При вероятном размахе суммы баллов от 10 до 100 фактические значения составили 15–86 баллов.

Ранжирование по интегральному показателю состояния природно-геологической среды

Каждый критерий (показатель) на участках оценивался по 10-балльной шкале в соответствии с классами экологического состояния (учитывающими 4 класса экологического состояния в зависимости от степени экологической опасности) на основе статистического распределения и фактических данных.

Экологическая оценка состояния природно-геологической среды приведена в баллах, главный картографируемый показатель – интегральный (суммарный) балл, определяющий экологическое состояние геологической среды и ее компонентов: благоприятное состояние < 20 баллов (на карте – зеленый цвет); условно благоприятное – 20–40 баллов (желтый цвет); неблагоприятное – 40–60 баллов (розовый цвет); весьма неблагоприятное > 60 баллов (красный цвет).

5) *Районирование территории по экологическому состоянию природно-геологической среды*

Проведенные исследования по методике интегральной оценки экологического состояния геологической (природно-геологической) среды дают возмож-

ность провести районирование и охарактеризовать современное геоэкологическое состояние Пермского региона следующим образом.

Территории с благоприятными экологическими условиями, отвечающие уровню экологической нормы (менее 20 баллов, по экспертной оценке, окрашенные на карте зеленым цветом), выделены в северо-западной и северо-восточной части Пермского края и занимают 15 % его территории. К ним отнесены площади с природными условно-естественными лесными или природно-антропогенными (вторичными лесными, частично вырубками, луговыми) ландшафтами и в целом имеют благоприятную (допустимую) степень нарушенности среды. Характеризуются редким развитием слабых по интенсивности и локальных по распространенности природных (в основном это заболоченности) и техногенно опасных (экологически неблагоприятных) объектов и процессов. Геохимические аномалии локальны, характеризуются допустимой степенью загрязнения и не превышают ПДК.

Территории с условно благоприятными экологическими условиями (20–40 баллов, по экспертной оценке, окрашенные на карте желтым цветом) занимают 48 % площади, характеризуются умеренно-опасной степенью загрязнения и входят в зону экологического риска. Занимают наибольшие площади в северной и западной, менее – в южной, частях края и отдельными пятнами распространены в центральной и восточной частях. При этом в северной половине края преобладают значения суммарного оценочного балла до 30, а в южной половине края – 30–40 баллов. К ним также отнесены территории с природными ландшафтами (но условно-естественные леса сочетаются с крупными болотными массивами, гольцами в горных районах); преобладают природно-антропогенные ландшафты; в южной и западной части края также развиты сельскохозяйственные антропогенные ландшафты. В целом, характерна удовлетворительная (малая) и напряженная (средняя) степень нарушенности среды, которая характеризуется регулярным проявлением (развитием) разных по интенсивности (но преимущественно слабых) и локальных по распространенности природных и техногенных экологически неблагоприятных процессов и явлений (реже, особенно в восточных районах, проявляются опасные ЭГП гравитационного типа и карст, на северо-западе – болота). Геохимические аномалии характеризуются умеренно-опасной степенью загрязнения, в основном не превышают 1,5–5 ПДК (в зависимости от классов опасности); выделяются отдельные локальные и точечные геохимические аномалии с более высоким уровнем ПДК.

Территории с неблагоприятными экологическими условиями отвечают категории экологического кризиса (40–60 баллов, по экспертной оценке, окрашенные на карте розовым цветом), занимают в Пермском крае большие площади, особенно в центральных и восточных районах, а также в юго-западной и юго-восточной частях края. Общая их площадь – 35 % территории. К ним отнесены территории природно-антропогенных и антропогенных ландшафтов; в последних преобладают сельхозугодья, но развиты также селитебные и промышленные зоны, занимающие значительные площади. В сельскохозяйственных районах преобладает напряженная (средняя) степень нарушенности среды, в промышленных районах отмечается кризисная степень нарушенности среды, которая характеризуется регулярным проявлением умеренно опасных природных и техногенных ЭГП (процессы переработки берегов водохранилищ, карст, оползни, овраги и др.). Выделяются обширные геохимические аномалии, часто с опасной степенью загрязнения (до 3–20 ПДК в зависимости от классов опасности).

Территории с весьма неблагоприятными экологическими условиями (более 60 баллов, по экспертной оценке, окрашенные на карте красным цветом) занимают относительно небольшую площадь – до 3 % территории Пермского края. Выделяется 6 участков: Соликамско-Березниковский (79–86 баллов), Александровско-Кизеловско-Губахинский (60–83 балла), Гремячинско-Чусовской (62–65 баллов), Пермско-Краснокамский (72–73 балла), Чайковский (61 балл), Кунгурский участок (61 балл). Эти территории представляют собой практически полностью антропогенные ландшафты с развитием промышленных и селитебных зон. Отмечается катастрофическая степень нарушенности среды, которая характеризуется повсеместным распространением опасных и особо опасных ЭГП и техногенных процессов (существует прямая угроза техногенных или карстовых провалов, подтопления, переработке берегов, сейсмичности, обусловленной повышенной, высокой и очень высокой геодинамической активностью). Установлены обширные геохимические аномалии по всем средам с ореолами и потоками с чрезвычайно опасной степенью загрязнений, превышающих 3–20 ПДК (иногда сотни и тысячи ПДК). Отмечается самый высокий уровень заболеваемости населения. Эти районы классифицируются (по классификациям ВСЕГИНГЕО, ВСЕГЕИ, ИМГРЭ и др.) как территории с катастрофическим экологическим состоянием природной среды и отвечают категории экологического бедствия [51].

Результаты исследований сопоставлялись с данными по медицинской статистике. Отмечается самый высокий уровень заболеваемости у всех категорий населения в зонах геохимических, геодинамических аномалий и территориях с неблагоприятными и весьма неблагоприятными экологическими условиями.

По отдельным районам Пермского края составлены более подробные геоэкологические карты [51, 76, 77, 81, 82, 85, 93–95, 99] и др.

4.4.3. Геоинформационное картографирование и основные геоэкологические карты, отражающие современное состояние природно-геологической среды

В Пермском крае более 20 лет осуществляется геоинформационное картографирование геологической среды с целью геоинформационного обеспечения пространственного развития края, комплексного изучения геологических систем, управления геологическими и экологическими рисками, проведения политики рационального природопользования (ГИС ОГВ Пермского края, экологический блок), ПГНИУ (кафедры ИГиОН, ПиРПИ и др.). Все карты, составляемые при проведении региональных геоэкологических исследований и картографирования, составляются в ГИС-технологиях, входят в ГИС-Атлас «Геоэкология Пермского края». Общая концепция ГИС-Атласа представлена на рис. 4.6.

ГИС-Атлас представляет два типа – интерактивный и аналитический: интерактивный тип позволяет менять оформление, способы изображения, классификации явлений, масштабировать (увеличивать и уменьшать) изображение, копировать карты; аналитический тип позволяет комбинировать и сопоставлять карты, проводить их количественный анализ и оценку, выполнять взаимное наложение (оверлей). Проект реализован на платформе ESRI Arc GIS (расширения Arc GIS Spatial Analyst, Arc GIS Geostatistical Analyst, Arc GIS 3D Analyst и др.).

ГИС-Атлас включает информационный, аналитический и прогнозно-аналитический блоки. Информационный блок составляется из параметрических карт с базами данных по отдельным видам геолого-геофизических, геохимических, неотектонических, геодинамических, геоморфологических, гидрогеологических, геоэкологических и инженерно-геологических данных.



Рис. 4.6. Концепция ГИС-Атласа «Геологическое строение, ресурсы недр, геоэкология и инженерная геология» [63]

Аналитический и прогнозно-аналитический блоки составляются из аналитических и синтетических карт геологического содержания, при этом прогнозные картографические модели основываются на данных мониторинга состояния природно-геологической среды.

Выходной информацией являются геоинформационные картографические модели и карты (макеты карт) геологического содержания. Макеты карт подготовлены в программе ArcView 3.3 (рис. 4.7, 4.8).

Рабочее окно программы и базы данных ГИС-Геоэкология на рис. 4.9.

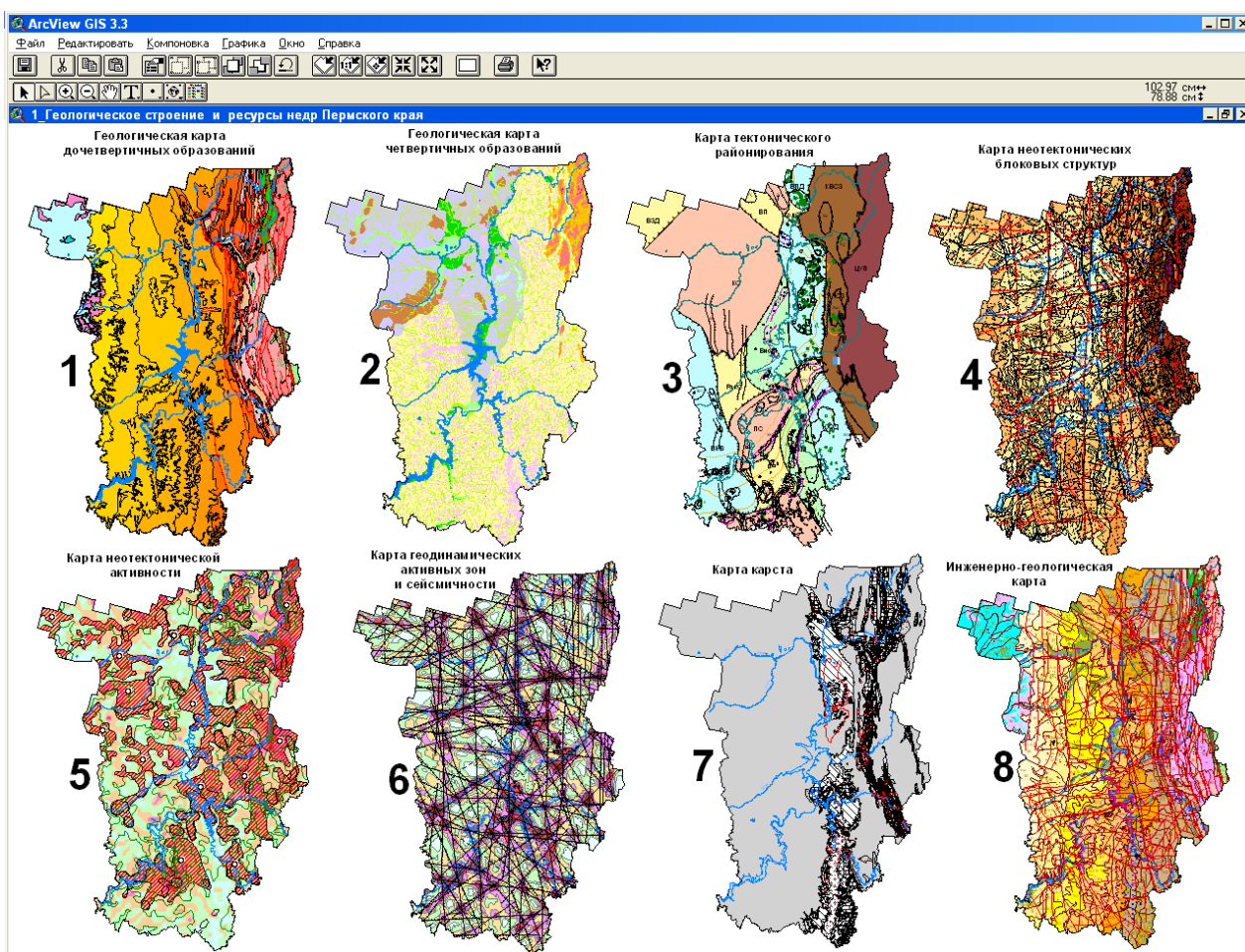
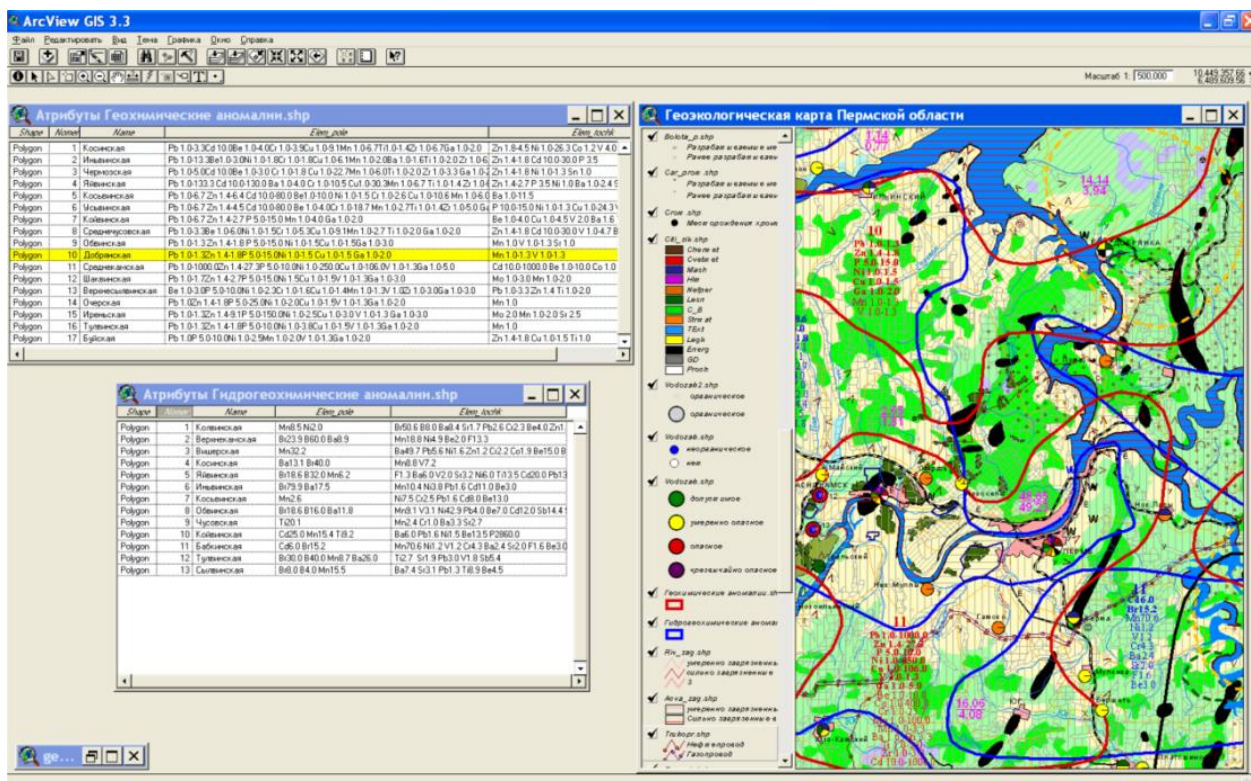
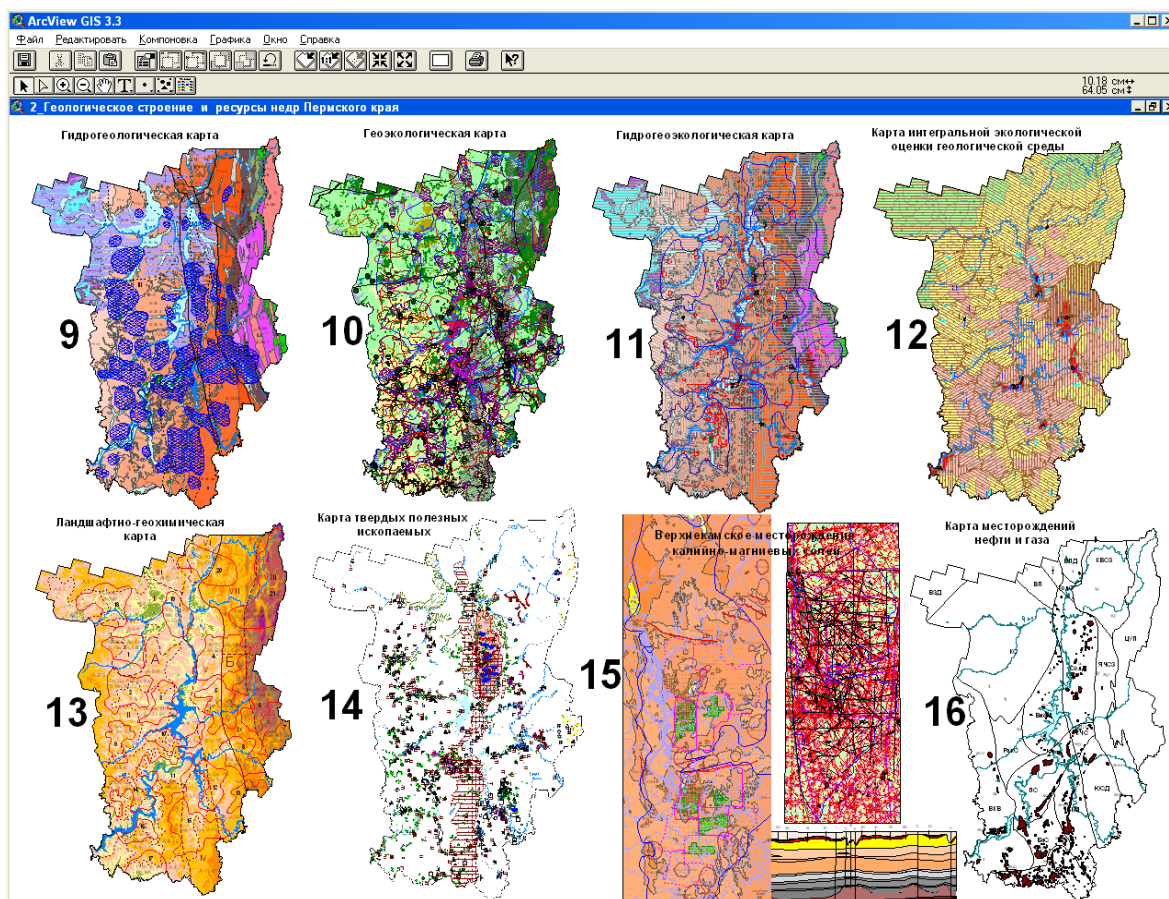


Рис. 4.7. Геоинформационные модели карт геологической среды (1–8)



Основные результаты по геоэкологическим исследованиям и картографированию территории Пермского края (Копылов и др., 2001, 2012) [51] в оценочном блоке основных карт представлены четырехлистным вариантом геоэкологической карты (ГЭК). Ниже представлены схематические и уменьшенные варианты этих карт: первый лист – собственно геоэкологическая карта (или эколого-ландшафтно-геохимическая), второй лист – гидрогеоэкологическая карта, третий лист – эколого-геодинамическая карта (карта геодинамических активных зон), четвертый лист – карта оценки геоэкологического состояния Пермского края (интегральной оценки природно-геологической среды).

Геоэкологическая карта (рис. 4.10, 4.11) составлена по материалам ФГУП «Геокарта-Пермь» (Копылов и др., 2001, 2012) с обновлением. В легенде и БД: ландшафтно-геологические системы: ландшафтные зоны и подзоны, ландшафтные комплексы, морфогенетические комплексы четвертичных отложений; экогеохимическая обстановка: комплексные литогеохимические и гидрогеохимические аномалии; геодинамические процессы; состояние компонентов природной среды: загрязнение крупных водоемов и рек, загрязнение атмосферного воздуха городов и территорий; основные техногенные комплексы и объекты.

Гидрогеоэкологическая карта (рис. 4.12, 4.13) составлена по материалам ФГУП «Геокарта-Пермь» (Копылов и др., 2001, 2012) с обновлением. В легенде и БД: гидрогеологические подразделения [65]; водообильные зоны [68]; защищенность первого от поверхности водоносного подразделения; загрязнение первых от поверхности водоносных подразделений; загрязнение подземных вод на крупных водозаборах; загрязнение поверхностных вод.

Эколого-геодинамическая карта (карта геодинамических активных зон) (рис. 4.14) составлена по материалам ФГУП «Геокарта-Пермь» (Копылов и др., 2010, 2012) с обновлением. В легенде и БД: геодинамическое зонирование по условиям тектонической трещиноватости, геодинамические активные зоны зонального и локального уровней по очень высокой степени плотности линеаментов, региональные линеаменты по аэрокосмогеологическим исследованиям; сейсмичность – изолинии сейсмической интенсивности по карте ОСР-97, потенциально сейсмоопасные узлы первой категории опасности (по Схеме сейсмического районирования Среднего Урала, 1998), землетрясения в баллах шкалы MSK-64.

Карта оценки геоэкологического состояния (интегральной оценки экологического состояния природно-геологической среды) (рис. 4.15, 4.16) составлена по материалам ФГУП «Геокарта-Пермь» (Копылов и др., 2001, 2012) с обновлением. В легенде и БД: 320 участков экологической оценки на основе эколого-гидрографического районирования; критерии оценки состояния природной среды и ее компонентов; экологическое состояние компонентов природной

среды; направленность изменений компонентов природной среды; оценка по административным районам влияния геологической среды на здоровье людей; ранжирование территории по 10 критериям, по общей 100-балльной оценочной шкале на 4 класса экологической опасности: нормы, риска, кризиса, бедствия.

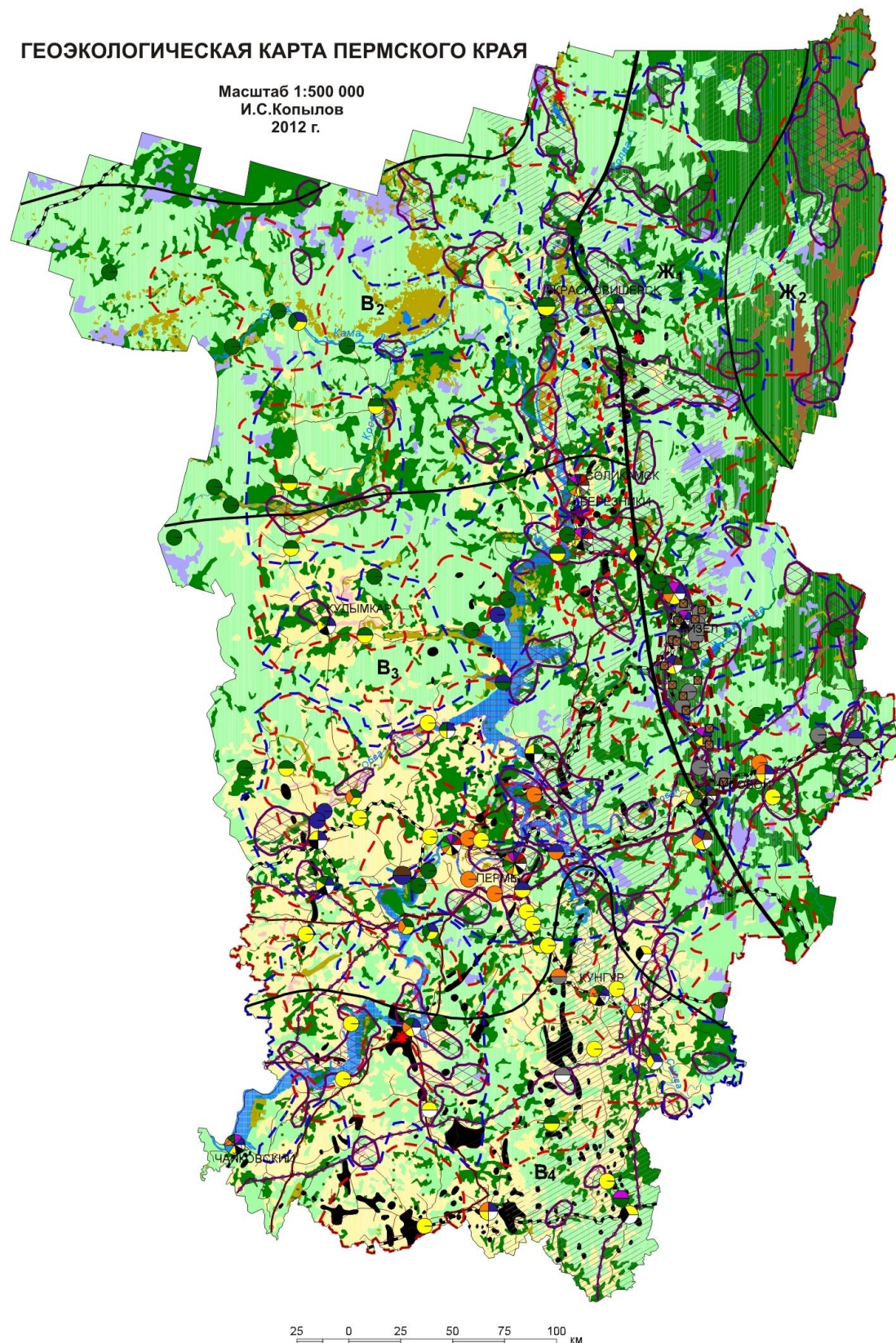


Рис. 4.10. Геоэкологическая карта Пермского края [51]

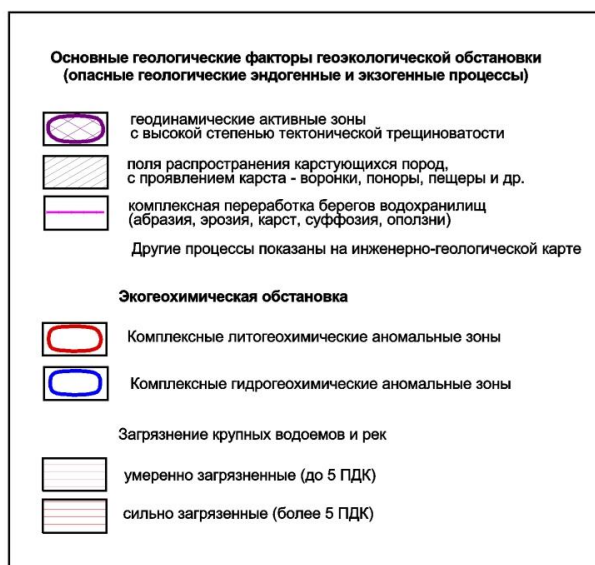
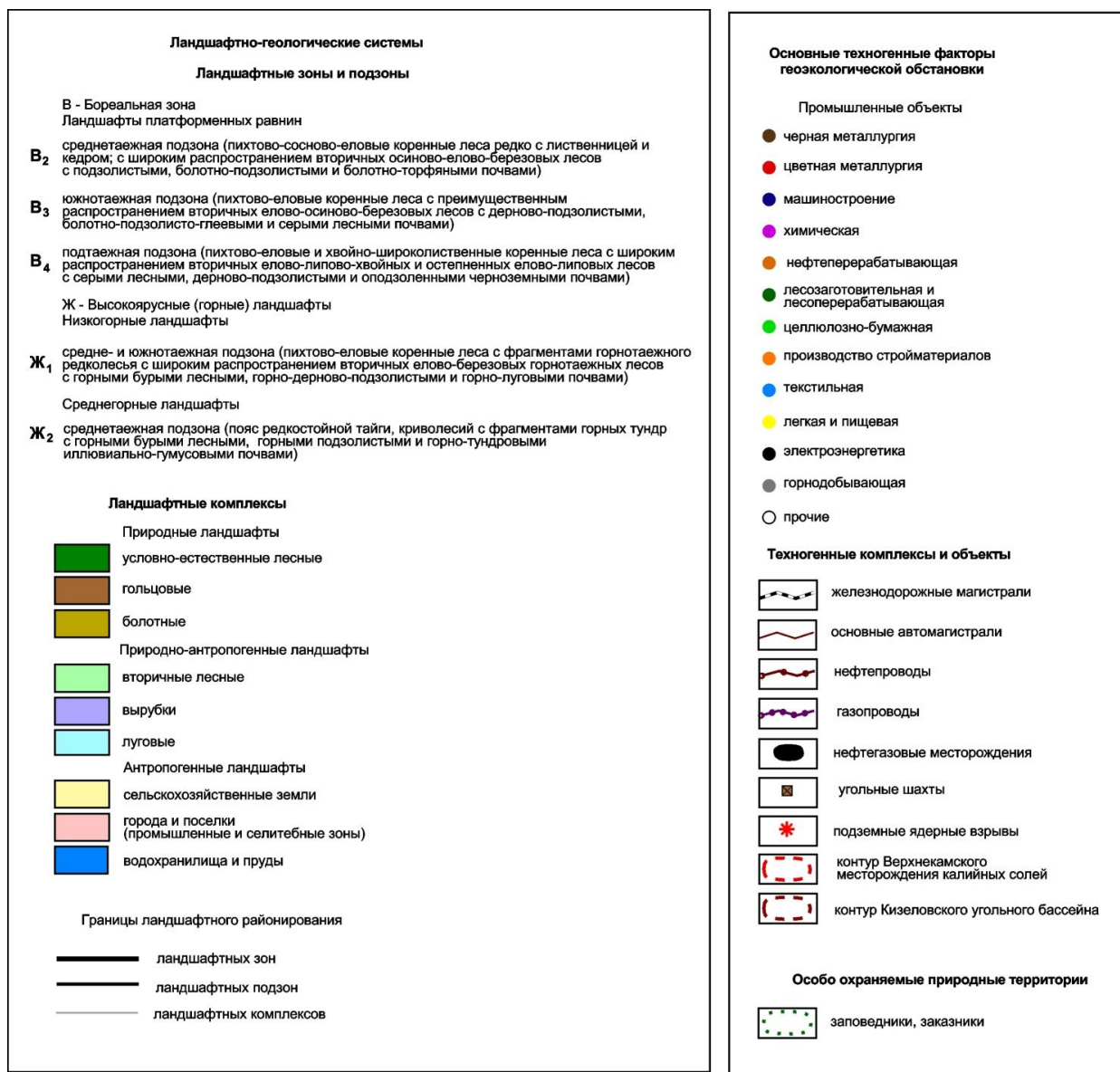


Рис. 4.11. Легенда к геоэкологической карте Пермского края

Масштаб 1:500 000
И.С.Копылов
2012 г.



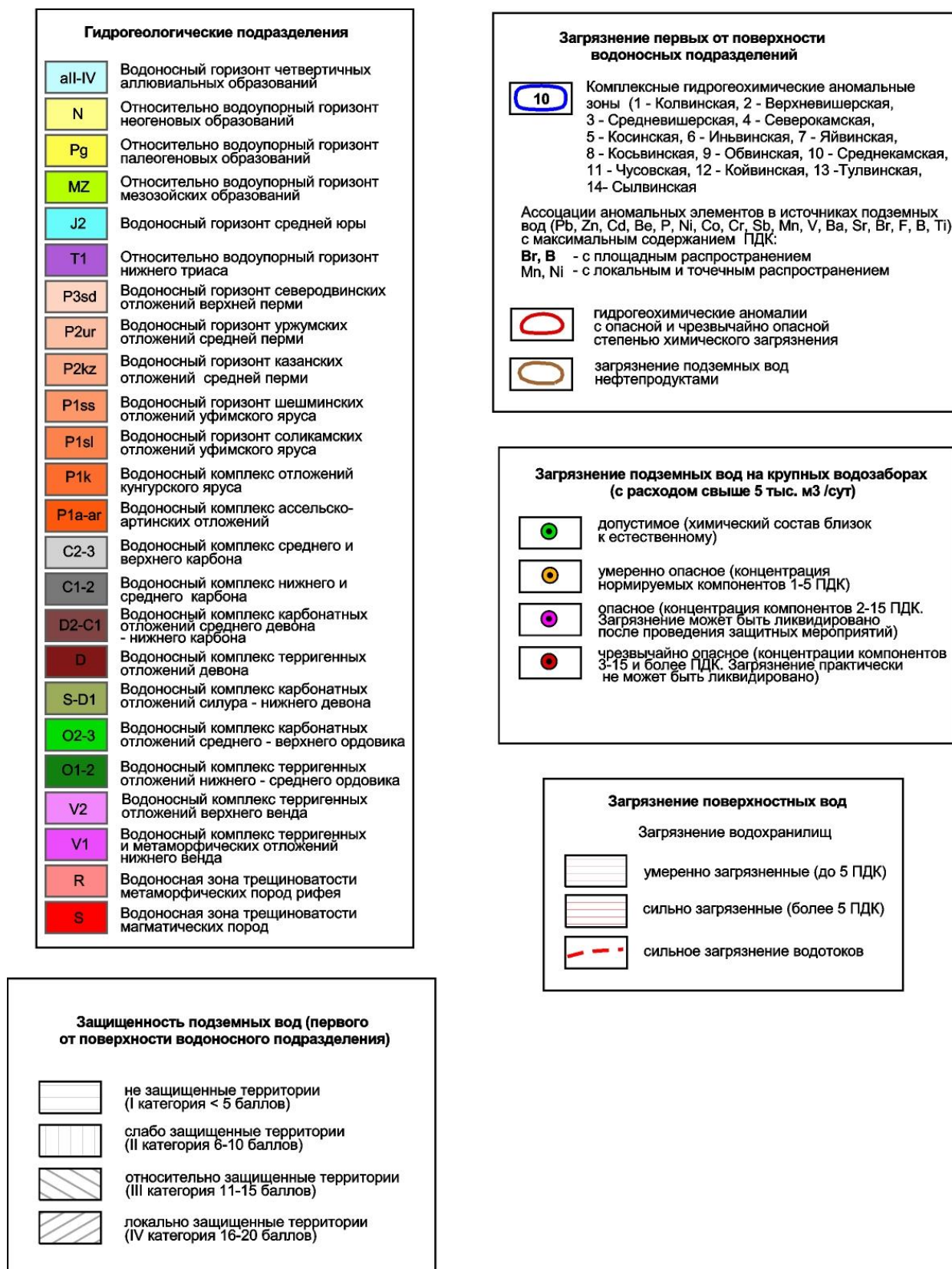


Рис. 4.13. Легенда к гидрогеоэкологической карте Пермского края

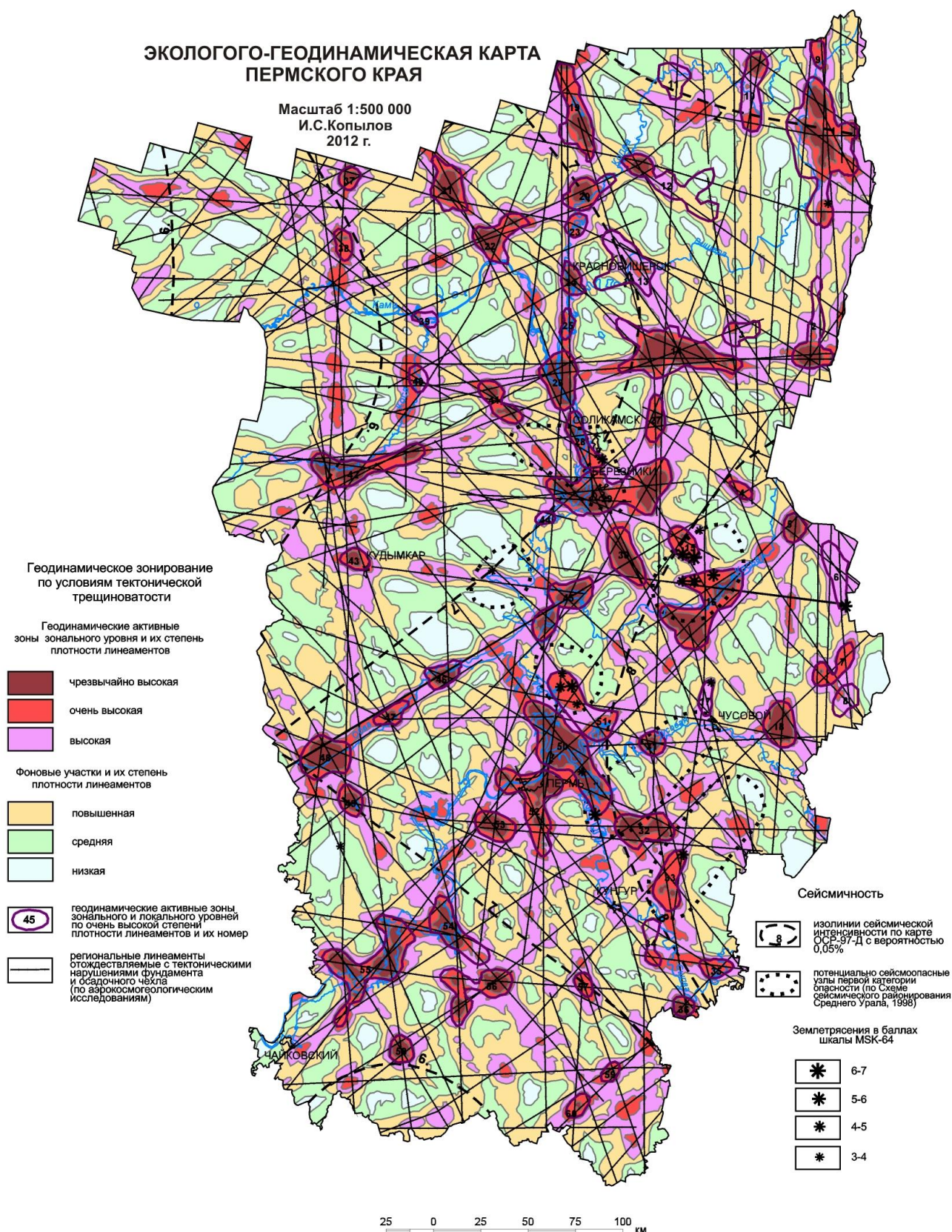
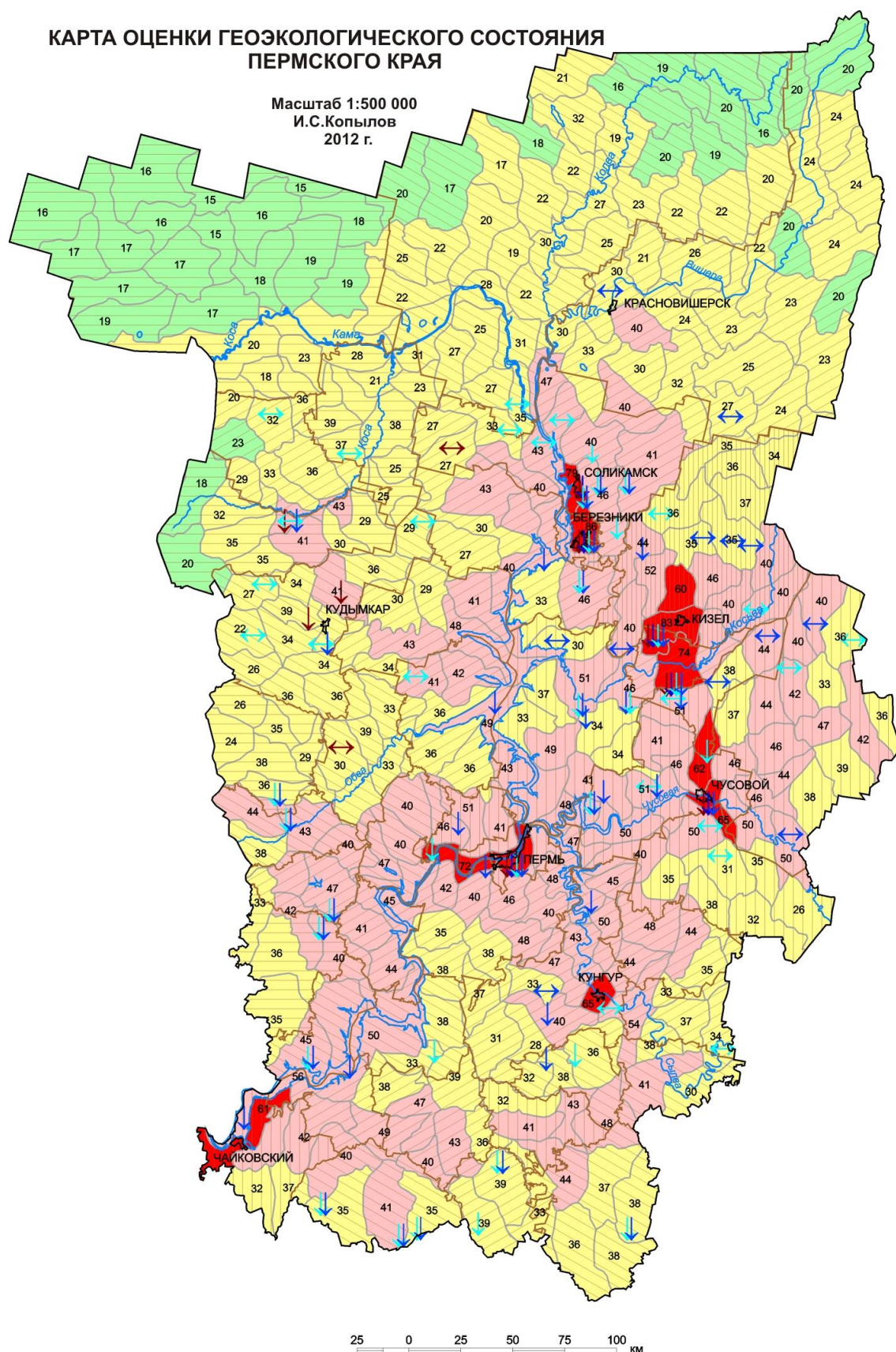


Рис. 4.14. Эколого-геодинамическая карта Пермского края [51]



**Рис. 4.15. Карта интегральной оценки экологического состояния
природно-геологической среды (оценки геоэкологического состояния)
Пермского края [51]**

Критерии оценки состояния природной среды и ее компонентов

Компоненты природной среды	№ компонента	Геоэкологические параметры и процессы (показатели)	Экологическая оценка (цифры в скобках – оценочные баллы)			
Литогенная основа	1	Сейсмичность в баллах	Допустимое <5 (1)	Умеренно опасное 5-6 (2, 3, 4)	Опасное 7-8 (5, 6, 7)	Чрезвычайно опасное >8 (8, 9, 10)
	2	Геодинамическая активность (плотность линейментов и трещин), балл	Допустимое 1-2 (1)	Умеренно опасное 3 (2, 3, 4)	Опасное 4 (5, 6, 7)	Чрезвычайно опасное 5-6 (8, 9, 10)
	3	Пораженность территории ЭП в % (карст, овраги, оползни, осыпи, обвалы, болота и др.)	Допустимое <5 (1)	Умеренно опасное 5-20 (2, 3, 4)	Опасное 20-30 (5, 6, 7)	Чрезвычайно опасное >30 (8, 9, 10)
Ландшафты	4	Степень нарушенности ландшафтов (в %)	Не измененные <10 (1)	Измененные 10-25 (2, 3, 4)	Измененные 25-50 (5, 6, 7)	Сильно измененные >50 (8, 9, 10)
Почвы	5	Химическое загрязнение (по ПДК в зависимости от класса опасности и площади). Элементы: 1 класс опасности 2 класс опасности 3 класс опасности	Допустимое <1 (1)	Умеренно опасное 1-1,5 1-2,5 1-5 (2, 3, 4)	Опасное 1,6-3 2,6-10 5,1-20 (5, 6, 7)	Чрезвычайно опасное >3 >10 >20 (8, 9, 10)
	6	Радиоактивное загрязнение (мкР/час)	Допустимое <16 (1)	Умеренно опасное 16-25 (2, 3, 4)	Опасное 26-35 (5, 6, 7)	Чрезвычайно опасное >35 (8, 9, 10)
Донные осадки	7	Химическое загрязнение (по ПДК в зависимости от класса опасности и площади). Элементы: 1 класс опасности 2 класс опасности 3 класс опасности	Допустимое <1 (1)	Умеренно опасное 1-1,5 1-2,5 1-5 (2, 3, 4)	Опасное 1,6-3 2,6-10 5,1-20 (5, 6, 7)	Чрезвычайно опасное >3 >10 >20 (8, 9, 10)
Подземные воды	8	Химическое загрязнение подземных вод зоны активного водообмена (ПДК): 1-2 класс опасности 3-4 класс опасности	Допустимое <1 (1)	Умеренно опасное 1-5 1-50 (2, 3, 4)	Опасное 5-10 5-100 (5, 6, 7)	Чрезвычайно опасное >10 >100 (8, 9, 10)
Поверхностные воды	9	Хим. загрязнение поверхностных вод (ПДК): 1-2 класс опасности 3-4 класс опасности	Допустимое <1 (1)	Умеренно опасное 1-5 1-50 (2, 3, 4)	Опасное 5-10 5-100 (5, 6, 7)	Чрезвычайно опасное >10 >100 (8, 9, 10)
	10	Загрязнение поверхностных вод пестицидами	Допустимое (1)	Умеренно опасное (2, 3, 4)	Опасное (5, 6, 7)	Чрезвычайно опасное (8, 9, 10)
Приповерхностная атмосфера	11	Комплексное загрязнение воздуха (модульное количество выбросов ЗВ, т/км²)	Низкое <2 (1)	Среднее 2-4 (2, 3, 4)	Высокое 4-10 (5, 6, 7)	Очень высокое >10 (8, 9, 10)
Суммарная оценка экологического состояния природно-геологической среды			Благоприятное (<20)	Условно благоприятное (20-40)	Неблагоприятное (40-60)	Весьма неблагоприятное (>60)



Экологическое состояние компонентов природной (в том числе геологической) среды

Цвет контура	Экологическое состояние природной среды		
	Суммарный оценочный балл	Экологическое состояние	Экологические зоны для экосистем
Зеленый	<20	Благоприятное	Нормы
Желтый	20-40	Условно благоприятное	Риска
Красный	40-60	Неблагоприятное	Кризиса
Черный	>60	Весьма неблагоприятное	Бедствия

○ контуры участков экологической оценки (на основе эколого-гидрографического районирования)

Направленность изменений компонентов природной (в том числе геологической) среды

Характер направленности	Компоненты			
	геологической среды			природной среды
	почва и техногенная нагрузка	донные осадки	подземные воды	поверхностные воды
улучшение				
стабилизация	↔	↔	↔	↔
ухудшение	↓	↓	↓	↓

Рис. 4.16. Легенда к карте оценки геоэкологического состояния Пермского края

Первые три карты являются фактологическими, построенными путем совмещения информации, отображенной на многих исходных интегральных и параметрических картах (ландшафтных, геологических, геодинамических, гидрогеологических, геохимических, гидрогеохимических, ЭП, сейсмичности, техногенной и ситуационной нагрузки и других). Отображая компоненты геологической и географической среды, первая – по ландшафтам, вторая – по литосфере, третья – по гидросфере, вместе они являются моделью, которая характеризует состояние природной среды на конкретный промежуток времени.

Карта интегральной оценки экологического состояния природно-геологической среды (оценки геоэкологического состояния) Пермского края составлена по методике, изложенной в подразделе 3.4.2, и является результирующей научно-методической разработкой.

Таким образом, разработана система интегральной оценки состояния природной среды (включая геологическую) как результата комплексного воздействия всех основных природных и техногенных факторов. Методология этих исследований может быть базовой для территории России.

ВОПРОСЫ ПО КУРСУ

1. Теоретические основы геоэкологии как междисциплинарного научного направления (исторические предпосылки, понятия, структура, основные положения; предмет, задачи, направления прикладной геоэкологии).
2. Основные проблемы геоэкологии (системный характер проблем геоэкологии; экосфера и геосферы; источники и виды техногенного воздействия на геосферы; геологическая роль и экологические функции геосфер; устойчивость жизни на Земле; ноосфера).
3. Методология исследований в геоэкологии (системный анализ, оценка, прогноз, модель концепции).
4. Общие методы и источники получения экологической и техно-природной информации. Специальные и тематические геоэкологические исследования.
5. Геоэкологические исследования и картографирование.
6. Оценка воздействия на окружающую среду.
7. Геоэкологический мониторинг.
8. Аэрокосмические методы в геоэкологии.
9. Геоинформационные технологии в геоэкологии и математические методы обработки и интерпретации экологической информации
10. Принципы и критерии интегральной геоэкологической оценки.
11. Основные природные и техногенные факторы формирования геоэкологической обстановки.
12. Региональный геоэкологический анализ и оценка крупных территорий (страна, округ, край, область, район).
13. Детальный геоэкологический анализ, оценка и прогноз изменения геоэкологических обстановок локальных территорий и объектов (недропользования, строительства, полигонов отходов и др.).
14. Оценка техно-природных рисков и районирование территорий по опасностям и рискам возникновения чрезвычайных ситуаций с экологическими последствиями.
15. Краткие основы нефтегазовой геологии и геоэкологии (закономерности образования и распространения месторождений нефти и газа, их воздействие на природную среду).
16. Оценка экологического и экономического ущерба горно- и нефтегазо-промышленных комплексов на биосферу.
17. Оценка геоэкологической безопасности городов.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ ПО КУРСУ

ЗАДАНИЕ 1

Код занятия: Контрольная точка 1 (КТ1)

Вид занятия: Практическая работа

Активные формы: Индивидуальная работа

Цель работы: Презентация и оформление научной статьи (макета статьи) в области геоэкологии и природопользования (на основе бакалаврской работы) с целью отработки научно-технического стиля

Порядок проведения работы

1. Использовать результаты ранее выполненных исследований при подготовке выпускной бакалаврской работы (или других исследований).

2. Дать характеристику проведенных геоэкологических (или других, близких к ним) исследований.

Во введении обозначить: научную проблему, цель работы, задачи, используемый исходный материал, обозначить личное участие. В содержательной части изложить основные результаты. В заключении изложить основные выводы и рекомендации.

3. Сделать презентацию (12–15 содержательных слайдов), время доклада около 5 мин.

Основные требования к оформлению статьи

Электронный вариант текста статьи должен быть набран в текстовом редакторе Word (шрифт Times New Roman, размер 14) с одинарным межстрочным интервалом; формат бумаги А4; все поля по 2 см. Отступ абзаца 1,25 см, выравнивание по ширине.

Рисунки (должны быть чёткими с разрешением не менее 300 dpi) с подписями внизу по центру, должны быть представлены в электронном виде и сгруппированы. Располагаются в тексте после ссылки рис. ...

Таблицы (с подписями сверху, по центру) должны быть представлены на листе формата А4, по ширине текста, вертикально. Располагаются в тексте после ссылки табл. ...

Файлы именуются по фамилии первого автора (например: Ivanov.doc). Название статьи, автор, аннотация (3–5 предложений), ключевые слова (3–5 слов) на русском и английском языках. Объем статьи около 8 страниц.

Порядок оформления статьи:

- 1) УДК (вверху слева).
- 2) Инициалы, фамилия автора (авторов), e-mail, полное название организации, город, страна (справа).
- 3) Название статьи (полужирный, по центру).
- 4) Аннотация и ключевые слова (курсив).
- 5) Инициалы, фамилия автора (авторов), организация – на английском языке (курсив, по центру).
- 6) Название статьи на английском языке (полужирный, по центру).
- 7) Аннотация и ключевые слова на английском языке (курсив).
- 8) Текст с иллюстрациями.
- 9) Библиографический список (курсив). Ссылки на литературу в тексте цифровые, в квадратных скобках в алфавитном порядке [1–2]. Оформление литературы делать по ГОСТ Р 7.0.100–2018, с учетом правил РИНЦ (по последним данным <http://elibrary.ru>).

Примеры оформления

Сборники Международных и Всероссийских с международным участием научно-практических конференций «Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения» и «Аэрокосмические методы в геологии» (Пермь, ПГНИУ, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2022, 2023 гг.).
<http://www.psu.ru/nauka/elektronnye-publikatsii/sborniki-nauchnykh-trudov-i-materialy-konferentsij/geoekologiya-inzhenernaya-geodinamika-geologicheskaya-bezopasnost;>
[http://www.psu.ru/nauka/elektronnye-publikatsii/sborniki-nauchnykh-trudov-i-materialy-konferentsij/aerokosmicheskie-metody-v-geologii.](http://www.psu.ru/nauka/elektronnye-publikatsii/sborniki-nauchnykh-trudov-i-materialy-konferentsij/aerokosmicheskie-metody-v-geologii)

ЗАДАНИЕ 2

Код занятия: Контрольная точка 2 (КТ2)

Вид занятия: Практическая работа

Активные формы: Индивидуальная работа

Цель работы: Региональный геоэкологический анализ и оценка крупных территорий

Порядок проведения работы

1. Выбрать (по согласованию с преподавателем) объект исследований – крупную территорию (страна, округ, край, область, район) для регионального геоэкологического анализа.

2. Провести сбор материалов изученности, природно-геологических, техногенных условий и геоэкологической информации об экологическом состоянии природной среды в объеме, необходимом для краткой геоэкологической оценки.

3. Построить (или представить готовые) карты (схемы) природно-геологических условий, техногенной нагрузки, геоэкологической оценки (с расчетной таблицей оценочных показателей).

4. Провести геоэкологический анализ и оценку территории.

5. Оформить статью (макет). В статье должны быть отражены:

- введение (актуальность, проблемы, изученность);
- техногенная нагрузка (основные отрасли промышленности, железнодорожная сеть, магистральные газопроводы и др.) со схемой техногенной нагрузки. Обязательно отразить нефтегазовый фактор со схемой нефтегазовых месторождений);
- физико-географические и геологические условия (физико-географическая, ландшафтная карты, геологическая и др. карты):
- оценка воздействия на окружающую среду (атмосферный воздух, водные ресурсы, отходы);
- влияние нефтегазового фактора на окружающую среду;
- интегральная геоэкологическая оценка. Сводная расчетная таблица геоэкологических условий (по административным районам). Карта оценки геоэкологической обстановки;
- природоохранные мероприятия и рекомендации;
- заключение;
- библиографический список – более 10 источников (науч. публикации и монографии; офиц. сайты по экологической, геологической и нефтегазовой информации).

Оформление – аналогично КТ1

6. Сделать презентацию (12–15 содержательных слайдов), время доклада около 5–7 мин.

ЗАДАНИЕ 3

Код занятия: Контрольная точка 3 (КТ3)

Вид занятия: Практическая работа

Активные формы: Индивидуальная работа

Цель работы: Геоэкологический анализ и оценка локальных территорий и объектов

Порядок проведения работы

1. Выбрать (по согласованию с преподавателем) объект исследований – локальный район для детализированного геоэкологического анализа.

Например: площадь стандартного тополиста масштаба 1:200 000 примерно 70 х 60 км (на разных широтах площадь разная). На площади должны быть нефтегазовые месторождения (или нефтегазовая инфраструктура; или крупное месторождение других полезных ископаемых).

2. Проведение геоэкологического анализа по алгоритму КТ2.

Описание: введение, методика, характеристика природно-геологических и техногенных условий (с соответствующими картами); результаты исследований включают описание критериев и показателей оценки и интегральную геоэкологическую оценку; оценка нефтегазового фактора и рекомендации; заключение, библиографический список.

3. Составление карты интегральной геоэкологической оценки с расчетной таблицей оценочных показателей (авторское исследование):

3.1. Выбор и описание критериев (Копылов, 2001, табл. 15.1, стр. 409, только таксоны не по бассейнам, а по квадратам).

3.2. Расчетная таблица:

– по вертикали номера квадратов (10 х 10 км), например, от № 1 до № 42 (если территория изучения листа масштаба 1:200 000 примерно 70 х 60 км).

Нумерация идет с севера (на юг) по горизонтали на восток (самый СЗ квадрат № 1, ЮВ квадрат № 42);

– по горизонтали в таблице – показатели (10 показателей), справа – сумма баллов;

– каждый квадрат оценивается по 10 балльной шкале (также учитывается площадь распространения показателя).

Минимальное значение в квадрате – 10 баллов, максимальное – 100 баллов. Значения выносятся в центр квадратов и по ним идет интерполяция (можно

в изолиниях через 5–10 б., можно по классам на 4 градации <20, 21–40, 41–60, >60 б.

3.3. Ранжирование состояния природной среды и составление карты интегральной геоэкологической оценки.

4. Оформить статью и сделать презентацию (12–15 содержательных слайдов), время доклада около 5–7 мин.

Источники основной информации по методике работы

Копылов И. С. Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края, Пермь, 2001, 501 с. <http://www.psu.ru/nauka/elektronnye-publikatsii/monografii-123123/kopylov-i-s-geoekologiya-gidrogeologiya-i-inzhenernaya-geologiya-permskogo-kraia>.

Копылов И. С. Принципы и критерии интегральной оценки геоэкологического состояния природных и урбанизированных территорий // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 6. https://elibrary.ru/download/elibrary_17388764_55480325.pdf.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохин В. М. Глобальная дизъюнктивная сеть Земли: строение, происхождение и геологическое значение. С-Пб.: Недра, 2006. 161 с.
2. Базилевич А. И., Гребенщиков О. С., Тишков А. А. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М.: Наука, 1986. 290 с.
3. Бачурин Б. А., Шишкин М. А., Оборин А. А., Одинцова Т. А. Некоторые аспекты техногенного изменения природных гидродинамических систем Пермского Предуралья // Охрана подземных вод Урала / Тез. докл. Свердловск: УрО АН СССР, 1989.
4. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера / Под общей редакцией С. К. Шойгу. Центр стратегических исследований гражданской защиты. Министерство РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России. М.: Знание, 1999. 540 с.
5. Берлянт А. М. Геоинформационное картографирование для решения задач геоэкологии // Геоэкологическое картографирование. Тез. докл. Всерос науч.-практ. конф. Ч. I. М.: ВСЕГИНГЕО, 1998. С. 26–31.
6. Бондарик Г. К. Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород. М.: Недра, 1971. 272 с.
7. Бондарик Г. К., Ярг Л. А. Инженерно-геологические изыскания. Учебник. 3-е изд. М.: КДУ, 2011. 420 с.
8. Блоков И. П. Краткий обзор о порывах нефтепроводов и объемах разливов нефти в России. Гринпис России, 2011. <http://midgard-info.ru/>
9. Быков В. Н. Функции литосферы // Геология Западного Урала на пороге XXI века: Мат. регион. научн. конф. Пермь: Перм. ун-т, 1999. С. 316–319.
10. Быков В. Н. Экологический приоритет в геологии XXI века // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Мат. регион. науч.-практ. конф. Пермь: Перм. ун-т, 2000. С. 267–270.
11. Быков В. Н. Экология недропользования: Учеб. пособие: В 2 кн. / Перм. гос. ун-т; Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 2000. Кн. 1 – 186 с., Кн. 2 – 186 с.

12. Васьков И. М. Катастрофические обвалы: происхождение и прогноз. Владикавказ: ООО НПКП «Мавр». 2016. 370 с.
13. Вахромеев Г. С. Экологическая геофизика. Иркутск: Улисс, 1995. 212 с.
14. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера. М.: Наука, 1989. 261 с.
15. Виноградов Б. В., Орлов В. А., Снакин В. В. Биотические критерии выделения зон экологического бедствия России // Изв. РАН. Сер. геогр. 1993. № 5. С. 77–79.
16. Волобуев Г. И. Прогнозирование гидрогеологических обстановок в нефтегазодобывающих районах. М., Недра, 1986. 192 с.
17. Воронов Г. А., Манташев М. А. К определениям и основным направлениям экологии // Геология Западного Урала на пороге XXI века: Мат. регион. научн. конф. Пермь: Перм. ун-т, 1999. С. 300–304.
18. Гаев А. Я. Об эколого-геологических науках и их месте в естествознании // Вестник Пермского университета. Геология. 1999. № 3. С. 257–270.
19. Гаев А. Я., Карпов Г. Н. О месте экогеологии и геологии в естествознании // Геология Западного Урала на пороге XXI века. Пермь: Перм. ун-т, 1999. С. 305–307.
20. Герасимов И. П. Экологические проблемы в прошлой, настоящей и будущей географии мира. М.: Наука, 1985. 247 с.
21. Голодковская Г. А., Елисеев Ю. Б. Геологическая среда промышленных регионов. М.: Недра, 1989. 220 с.
22. Голодковская Г. А., Куринов М. Б. Геоэкологическое картографирование: методологические основы, подходы, опыт реализации. // Геоэкологическое картографирование. Тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. Ч. I. М.: ВСЕГИНГЕО, 1998. С. 20–22.
23. Голубчик М. М., Евдокимов С. П., Максимов Г. Н., Носонов А. М. Уровни познания геосистем и структура методов географии // Экономические, социально-политические и экологические исследования геосистем. Саранск: НИИ регионологии, 2000. С. 4–9.
24. Горшков С. П. Эколого-географические основы охраны природы. М.: МГУ, 1992. 124 с.
25. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техноген-

ного характера в 2020 году» / М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2021, 264 с.

26. Двинских С. А., Зуева Т. В. Экологические проблемы городских территорий (на примере г. Березники) // География и регион. XI. Природопользование и экологический мониторинг. Пермь: Перм. ун-т, 2002. С. 17–23.

27. Двинских С. А., Черных Е. А. Системно-географический подход к водоохранным проблемам Нечерноземного Урала // Физико-географические основы развития и размещения производительных сил Нечерноземного Урала. Пермь: Перм. ун-т. 1988. С. 12–24.

28. Девяткова С. Б., Сарапульцева Г. В. Оценка природно-географических условий отдыха на территории Пермской области // Физико-географические основы развития и размещения производительных сил Нечерноземного Урала. Пермь: Перм. ун-т, 1988. С. 27–41.

29. Емельянов А. Г. Система прогнозирования изменений природных комплексов под воздействием гидротехнических сооружений: диссертация доктора географических наук: 11.00.01. Калинин, 1989. 493 с.

30. Зоненшайн Л. П., Савостин Л. А. Введение в геодинамику. М.: Недра, 1979. 311 с.

31. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. Л. Гидрометеиздат, 1984. 560 с.

32. Израэль Ю. А. Философия мониторинга // Метеорология и гидрология. 1990. № 6. С. 5–10.

33. Инструкция по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 (Роскомнедра). М.: ВСЕГЕИ, 1995. 244 с.

34. Информационные ресурсы ВСЕГЕИ/ <https://vsegei.ru/ru/info>,

35. Исаева Н. И., Ярошенко И. В. Прогнозирование, как основа системы стратегического планирования социально-экономического развития страны // Бизнесинформ. № 12. 2015.

36. Камеральная обработка материалов геологосъемочных работ масштаба 1:200000. Методические рекомендации. Вып. 2. / А. И. Бурдэ, В. С. Антипин, В. И. Бергер и др. СПб. (МПР, ВСЕГЕИ). Изд-во ВСЕГЕИ, 1999. 384 с.

37. Карта источников техногенного загрязнения России. Масштаб 1:5 000 000. Объяснительная записка / В. Н. Островский, Л. А. Островский. М.,

1995. Комитет РФ по использованию недр, ВСЕГИНГЕО, ИМГРЭ, М., 1995. 24 с.

38. Карта экзогенных геологических процессов России. Масштаб 1:2 500 000, М., ВСЕГИНГЕО, 2001.

39. Кац Я. Г., Полетаев А. И., Румянцева Э. Ф. Основы линейной тектоники. М.: Недра, 1986. 140 с.

40. Козлов С. В., Копылов И. С. Закономерности размещения уникальных и крупных месторождений нефти и газа в земной коре, нефтегазогенерирующие глубинные зоны образования углеводородов и первичные астеносферные землетрясения как единый планетарный процесс // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т. 18. № 1. С. 64–72.

41. Козловский Е. А. Геоэкология – новое научное направление. Геоэкологические исследования в СССР. Доклады советских геологов. //Межд. Геол. конгресс. XXVIII сессия. М., 1989. С. 9–19.

42. Копылов И. С. Анализ результатов и перспективы нефтегазопромышленных аэрокосмогеологических исследований Пермского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. № 4 (29). С. 70–81.

43. Копылов И. С. Анализ теоретических основ геоэкологии и экологической геологии и методологических подходов, связанных с оценкой экологического состояния природно-геологической среды // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь, 2022. С. 70–84.

44. Копылов И. С. Аномалии тяжелых металлов в почвах и снежном покрове города Перми, как проявления факторов геодинамики и техногенеза // Фундаментальные исследования. 2013. № 1–2. С. 335–339.

45. Копылов И. С. Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 6. С. 14–19.

46. Копылов И. С. Влияние геодинамики и техногенеза на геоэкологические и инженерно-геологические процессы в районах нефтегазовых месторождений Восточной Сибири // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3.

47. Копылов И. С. Геодинамические активные зоны Верхнекамского месторождения калийных солей по результатам дистанционных исследований и их влияние на инженерно-геологические условия и промышленное освоение // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, 2011. С. 165–167.

48. Копылов И. С. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. 2014. № 4. С. 69–74.
49. Копылов И. С. Геокриологические условия юго-запада Восточной Сибири // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь, 2020. С. 192–204.
50. Копылов И. С. Геоэкологическая роль геодинамических активных зон // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 7. С. 67–71.
51. Копылов И. С. Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 2021. 501 с.
52. Копылов И. С. Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы: монография. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т. 2013. 166 с.
53. Копылов И. С. Гидрогеологическая роль геодинамических активных зон // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 9–3. С. 86–90.
54. Копылов И. С. Гидрогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, 2012. С. 145–149.
55. Копылов И. С. Закономерности формирования почвенных ландшафтов Приуралья, их геохимические особенности и аномалии // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4.
56. Копылов И. С. Инженерно-геологическая роль геодинамических активных зон // Успехи современного естествознания. 2014. № 5–2. С. 110–114.
57. Копылов И. С. Концепция и методология геоэкологических исследований и картографирования платформенных регионов // Перспективы науки. 2011. № 8 (23). С. 126–129.
58. Копылов И. С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. LAP LAMBERT Academic Publishing. Beau Bassin, Mauritius, 2018. 210 с.
59. Копылов И. С. Линеаментно-геодинамический анализ для оценки экологической емкости геологической среды Байкальской природной территории // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2022. С. 194–204.

60. Копылов И. С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.
61. Копылов И. С. Литогеохимические закономерности пространственного распределения микроэлементов на Западном Урале и Приуралье // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. №. 2 (15). С. 16–34.
62. Копылов И. С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности: монография. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
63. Копылов И. С. Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов / автореферат дис. ... доктора геолого-минералогических наук. Пермь, 2014. 48 с.
64. Копылов И. С. Неотектонические и геодинамические особенности строения Тимано-Печорской плиты по данным аэрокосмогеологических исследований // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. № 6. С. 341–351. URL: http://www.ogbus.ru/authors/KopylovIS/KopylovIS_1.pdf.
65. Копылов И. С. Основные водоносные комплексы Пермского Прикамья и перспективы их использования для водоснабжения // Успехи современного естествознания. 2014. № 9–2. С. 105–110.
66. Копылов И. С. Основные фундаментальные и прикладные направления в изучении геодинамических активных зон // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 8–1. С. 82–86.
67. Копылов И. С. Особенности геохимических полей и литогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь, 2011. №. 1. С. 26–37.
68. Копылов И. С. Поиски и картирование водообильных зон при проведении гидрогеологических работ с применением линеаментно-геодинамического анализа // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 93. С. 468–484.
69. Копылов И. С. Принципы и критерии интегральной оценки геоэкологического состояния природных и урбанизированных территорий // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 6.
70. Копылов И. С. Региональные геологические факторы формирования экологических условий // Успехи современного естествознания. 2016. № 12. С. 172–177.

71. Копылов И. С. Региональный ландшафтно-литогеохимический и геодинамический анализ: монография / LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrücken, Germany. 2012. 152 с.

72. Копылов И. С. Структурно-geoхимический анализ Нижнеканского гранитоидного массива // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. 2020. № 23. С. 296–303.

73. Копылов И. С. Структурно-гидрогеологический анализ Камовского свода Сибирской платформы // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. 2018. № 21. С. 395–401.

74. Копылов И. С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4. URL: www.science-education.ru/98-4745.

75. Копылов И. С. Формирование микроэлементного состава и гидрогеохимических аномальных зон в подземных водах Камского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. № 3 (24). С. 30–47.

76. Копылов И. С. Эколого-геологическая обстановка Среднего Урала (Кизеловский угольный бассейн, лист О-40-X) // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2023. С. 128–145.

77. Копылов И. С. Эколого-geoхимические закономерности и аномалии содержания микроэлементов в почвах и снежном покрове Приуралья и города Перми // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь. 2012. №. 4 (17). С. 39–46.

78. Копылов И. С., Бузмаков С. А. Геоэкология нефтегазоносных регионов – новый спецкурс для магистратуры Пермского университета // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Сборник научных статей. Под общей редакцией И. С. Копылова. Пермь, 2022. С. 59–69.

79. Копылов И. С., Бузмаков С. А. Прикладная геоэкология – новый спецкурс для магистратуры Пермского университета // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь, 2021. С. 31–38.

80. Копылов И. С., Гавриков М. Ю., Наполов О. Б. Разработка критериев и методики оценки состояния геологической среды и прогнозирования ее изменений, являющихся основой для разработки мероприятий по охране и рацио-

нальному использованию недр // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Пермь, 2023. С. 362–371.

81. Копылов И. С., Даль Л. И. Геоэкологическая оценка и устойчивость природной среды Кизеловского района // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Пермь, 2018. С. 92–110.

82. Копылов И. С., Даль Л. И. Геоэкологическая оценка состояния природной среды Коми-Пермяцкого округа // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2–2.

83. Копылов И. С., Даль Л. И. Роль геологических факторов в формировании геопатогенных зон и геоэкологической обстановки // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 12–2. С. 221–222.

84. Копылов И. С., Даль Л. И. Типизация и районирование ландшафтно-геохимических систем // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2. С. 772.

85. Копылов И. С., Карасева Т. В., Гершанок В. А. Комплексная геоэкологическая оценка горно-промышленных районов Северного Урала // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 84. С. 113–122.

86. Копылов И. С., Ковин О. Н., Голдырев В. В., Малеев Э. Е., Брюхов В. Н. Основные факторы горно-геологического и экологического рисков на территории Верхнекамского месторождения калийных солей // Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь, 2021. С. 268–289.

87. Копылов И. С., Козлов С. В. Неотектоническая модель нафтидогенеза и минерагеническая роль геодинамических активных зон // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. № 1 (22). С. 78–88.

88. Копылов И. С., Коноплев А. В. Геологическое строение и ресурсы недр в Атласе Пермского края // Вестник Пермского университета. Геология. 2013. № 3 (20). С. 5–30.

89. Копылов И. С., Коноплев А. В. Методология оценки и районирования территорий по опасностям и рискам возникновения чрезвычайных ситуаций как основного результата действия геодинамических и техногенных процессов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. С. 431.

90. Копылов И. С., Коноплев А. В. Оценка геодинамического состояния Талицкого участка Верхнекамского месторождения калийных солей на основе ГИС-технологий и ДДЗ. «Геоинформатика». 2013. № 2. С. 20–23.

91. Копылов И. С., Коноплев А. В., Красильников П. А., Кустов И. В. Эколого-геологические проблемы, состояние изученности и картографирование геологической среды г. Перми // Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. / гл. ред. И. С. Копылов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2021. С. 111–121.

92. Копылов И. С., Коноплев А. В., Ибламинов Р. Г., Осовецкий Б. М. Региональные факторы формирования инженерно-геологических условий территории Пермского края // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 84. С. 102–112.

93. Копылов И. С., Копылова Л. И. Геоэкологическая оценка и устойчивость природной среды Горнозаводского городского округа // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь, 2021. С. 122–134.

94. Копылов И. С., Копылова Л. И. Геоэкологическая оценка и устойчивость природной среды Юрлинского муниципального округа // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь, 2020. С. 102–113.

95. Копылов И. С., Копылова Л. И. Геоэкологические условия северо-западной части Пермского края // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь, 2022. С. 122–132.

96. Копылов И. С., Красильников П. А., Клецкина О. В. Экологическая емкость территории: история изучения, обзор методов определения // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 2. С. 42–47.

97. Копылов И. С., Красильников П. А., Клецкина О. В. Экологическая емкость территории: классификации подходов и критериев оценки // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 4. С. 66–71.

98. Копылов И. С., Ликутев Е. Ю. Структурно-геоморфологический, гидрогеологический и геохимический анализ для изучения и оценки геодинамической активности // Фундаментальные исследования. 2012. № 9–3. С. 602–606.

99. Копылов И. С., Лунев Б. С., Наумова О. Б., Маклашин А. В. Геоморфологические ландшафты как основа геоэкологического районирования // Фундаментальные исследования. 2014. № 11–10. С. 2196–2201.

100. Копылов И. С., Наполов О. Б. Требования к разработке мероприятий по рациональному использованию и охране недр на территории Российской Федерации // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Пермь, 2023. С. 361–368.

101. Копылов И. С., Наумов В. А., Наумова О. Б., Харитонов Т. В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.

102. Копылов И. С., Наумов В. А., Спасский Б. А., Маклашин А. В. Геоэкологическая оценка горно-промышленных и нефтегазоносных закарстованных районов Среднего Урала // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5.

103. Копылов И. С., Чусов М. В. Геохимические исследования гранитоидов Нижнеканского массива для выбора площадок размещения хранилищ радиоактивных отходов // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь. С. 339–349.

104. Копылов И. С., Чусов М. В. Мониторинг геологической среды Юрубчено-Тохомского нефтегазового месторождения // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь, 2022. С. 348–363.

105. Копылов И. С., Чусов М. В. Результаты зимней геохимической съемки на Нижнекамском гранитоидном массиве для оценки геодинамической активности // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь, 2021. С. 135–143.

106. Копылов И. С., Чусов М. В. Формирование системы мониторинга и контроля геологической среды нефтегазовых месторождений (на примере Юрубчено-Тохомского) // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь, 2022. С. 364–379.

107. Королев В. А. Актуальные теоретические проблемы экологической геологии // Международная конференция «Экологическая геология и рациональное недропользование». СПб.: Изд-во С.Пб ун-та, 2000. С. 25–26.

108. Корчуганова Н. И. Новейшая тектоника с основами современной геодинамики. Методическое руководство. М.: Геокарт: ГЕОС, 2007. 354 с.

109. Косинова И. И., Богословский В. А., Бударина В. А. Методы эколого-геохимических, эколого-геофизических исследований и рационального недропользования: учеб. пособие. Воронеж: Воронеж. ун-т, 2004. 281 с.

110. Костарев С. М., Михайлов Г. К. Проблемы охраны пресных подземных вод в районах нефтедобычи // Охрана подземных вод Урала / Тез. докл. Свердловск, УрО АН СССР, 1989.
111. Котенок О. В., Оганов А. С. Обеспечение экологической безопасности при освоении морских нефтегазовых месторождений // Вестник ассоциации буровых подрядчиков. № 1. 2007. С. 36–39.
112. Котлов Ф. В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М., Недра, 1978. 263 с.
113. Кофф Г. Л., Чеснокова И. В. Информационное обеспечение страхования от опасных природных процессов (на примере землетрясений). М.: ПОЛИТЕКС, 1998. 168 с.
114. Кофф Г. Л., Чеснокова И. В., Шахрамьян М. А. Оценка социально-экономического ущерба от опасных процессов на территории России // Прикладная геоэкология, чрезвычайные ситуации, земельный кадастр и мониторинг. Сб. тр. (в.2). М.: 1997. С. 6–15.
115. Кочетков М. В., Вартамян Г. С., Голицын М. С. Концепция геоэкологического картографирования. // Геоэкологическое картографирование. Тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. Ч. I. М.: ВСЕГИНГЕО, 1998. С. 7–10.
116. Кочетков М. В., Грабовников В. А., Леоненко Л. В. Современное состояние геоэкологического картографирования в России. // Геоэкологическое картографирование. Тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. Ч. I. М.: ВСЕГИНГЕО, 1998. С. 10–14.
117. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М.: ГНТУ Минприроды РФ, 1992. 58 с.
118. Круть И. В. Введение в общую теорию Земли. Уровни организации геосистем. М.: Мысль, 1978. 367 с.
119. Ликутов Е. Ю. Рельефообразующие процессы катастрофического подпруживания Бурейского водохранилища (декабрь 2018 г.), условия, опасность и прогноз их действия // Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь, 2021. С. 306–317.
120. Ликутов Е. Ю., Копылов И. С. Комплексирование методов изучения и оценки геодинамической активности // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2013. № 4. С. 125–133.

121. Ломов С. П., Спиридонова И. Н. Геохимические условия современных и погребенных почв курганных захоронений лесостепной зоны Среднего Поволжья // Изв. Саратовского ун-та. Нов. Сер. Науки о Земле. 2018. Т. 18. Вып. 1. С. 14–20.
122. Лобацкая Р. М., Кофф Г. Л. Разломы литосферы и чрезвычайные ситуации. М.: Российское экологическое федеральное информационное агентство, 1997. 196 с.
123. Макаров В. И., Макарова Н. И. Новейшие геодинамически активные зоны Восточно-Европейской платформы. В кн.: Тектоника и геодинамика континентальной литосферы. М.: ГЕОС., 2003. С. 16–19.
124. Мананков А. В. Геоэкология. Промышленная экология: учеб. Пособие. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010. 204 с.
125. Масляев В. В. Геоэкология: современные методы исследований: учеб. пособие [Электронный ресурс]. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2020. 150 с.
126. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР // Геохимия элементов. М., Наука, 1987.
127. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 112 с.
128. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды. М.: ИМГРЭ, 1982. 66 с.
129. Методические рекомендации по геохимическим исследованиям для оценки воздействия на окружающую среду проектируемых горнодобывающих предприятий. М.: ИМГРЭ, 1986. 98 с.
130. Методические указания по составлению эколого-геологических карт масштаба 1:1 000 000-500 000 / В. Н. Островский, Л. А. Островский, Р. К. Шахнова Р.К. М.: ВСЕГИНГЕО, 1994. 27 с.
131. Мониторинг месторождений и участков водозаборов питьевых подземных вод. Методические рекомендации. МПР РФ, ГИДЭК, 1988. 80 с.
132. Наполов О. Б., Копылов И. С. Охрана недр в мире: обзор зарубежного законодательства в области рационального недропользования // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь, 2023. С. 369–384.
133. Наполов О. Б., Серова Л. А., Копылов И. С. Трансформация геологической среды при техногенном воздействии горнопромышленного комплекса в

РФ // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь, 2023. С. 385–390.

134. Николаев Н. И. Новейшая тектоника и геодинамика литосферы. М.: Недра, 1988. 491 с.

135. Оборин А. А., Михайлов Г. К., Копылов И. С., Кашеварова Н. М. Роль современных геодинамических зон в процессах загрязнения природной среды при разработке месторождений нефти // В книге: Геодинамика нефтегазоносных бассейнов. Тезисы второй Международной конференции. 2004. С. 161–162.

136. Одум Ю. Основы экологии / Пер. с 3-го англ. изд. Под ред. Н. П. Наумова. М.: Мир, 1975. 740 с.

137. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ (последняя редакция). КонсультантПлюс (consultant.ru)

138. Осипов В. И. Геоэкология: понятие, задачи, приоритеты // Геоэкология. 1997. № 1. С. 3–11.

139. Островский В. Н., Островский Л. А. Об особенностях геоэкологического картографирования. // Геоэкологическое картографирование. Тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. Ч. I. М.: ВСЕГИНГЕО, 1998. С. 79–81.

140. Парфенова Н. М., Косякова Л. С., Григорьев Е. Б., Шафиев И. М., Логинов В. А. Нефтяной потенциал Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции // Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов. № 2 (47). 2021. С. 63–80.

141. Плотников Н. И., Карцев А. А., Рогинец И. И. Научно-методологические основы экологической геологии. М.: Изд-во МГУ, 1992.

142. Прогноз развития экзогенных геологических процессов по территории Российской Федерации на 2021 г. / Министерство природных ресурсов и экологии РФ, Федеральное агентство по недропользованию, ФГБУ «Гидроспецгеология», Центр ГМСН и региональных работ. М., 2022. 73 с.

143. Рагозин А. Л. Теория и практика оценки геологических рисков: дисс. в виде научн. докл. д-ра. геол.-мин. наук. М., 1997. 65 с.

144. Реймерс Н. Ф. Экология. М.: Россия, 1994. 367 с.

145. Розанов Л. Л. Прикладная геоэкология: потенциальный спецкурс // Вестник Международной академии наук (Русская секция). 2017. № 1. С. 85–89.

146. Розанов Л. Л. Современное геоэкологоведение // Научный диалог. 2015. № 2 (38). С. 21–40.
147. Сает 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.
148. Семячков А. И., Дребенштедт К., Воробьев А. Е. Геоэкология. Учеб. пособ. для высш. учеб. завед. горно-географического профиля / Под ред. ак. РАН В. Н. Большакова, ак. РАН А. И. Татаркина. Екатеринбург: Уральский гос. горный ун-т., 2012. 289 с.
149. Сергеев Е. М. Инженерная геология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. 384 с.
150. Сизов А. П., Хабаров Д. А., Хабарова И. А. Новые подходы к разработке методики формирования семантической информации мониторинга земель на основе обработки и анализа картографической информации // Геодезия и аэрофотосъемка. № 4. 2018. С. 434–441.
151. СНиП 2.01.15-90. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования / Госстрой СССР. М.: Арендное производственное предприятие ЦИТП, 1991. 32 с.
152. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. М.: Наука, 1978. 320 с.
153. СП-11-102-97 «Свод правил по инженерно-экологическим изысканиям для строительства».
154. Стратегическая программа действий по охране окружающей среды Арктической зоны Российской Федерации. Минэкономразвития России, 2009.
155. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года (утв. Президентом РФ 20.02.2013).
156. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. Т. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
157. Сычев К. И. Научное содержание и основные направления геоэкологии // Разведка и охрана недр. 1991. № 11. С. 2–6.
158. Тверитинова Т. Ю. Волновая тектоника Земли // Геодинамика и тектонофизика. 2010. Т. 1. № 3. С. 297–312.

159. Тихонов А. И. Гипотеза об образовании Земли, «необъяснимых» земных явлений и процессов // Электронный журнал «Глубинная нефть», URL: <http://journal.deeroil.ru>. 2013. Т. 1, № 8. С. 1125–1170.

160. Требования к геолого-экологическим исследованиям и картографированию масштаба 1:50 000–1:25 000 / М. С. Голицын, В. Н. Островский, Л. А. Островский. М.: ВСЕГИНГЕО, 1990. 127 с.

161. Требования к геолого-экологическим исследованиям и картографированию масштаба 1:200 000–1:100 000 / М. С. Голицын, В. Н. Островский, Л. А. Островский. М.: ВСЕГИНГЕО, 1990. 86 с.

162. Требования к геолого-экологическим исследованиям и картографированию масштаба 1:1 000 000–1:500 000 / М. С. Голицын, В. Н. Островский, Л. А. Островский. М.: ВСЕГИНГЕО, 1990. 41 с.

163. Требования к гидрогеологической съемке масштаба 1:200 000 в комплексе с эколого-геологическими исследованиями и картографированием / Л. А. Островский, В. Н. Островский, Н. В. Бастракова и др. М.: ВСЕГИНГЕО, 1995. 30 с.

164. Требования к гидрогеологическому доизучению масштаба 1:200 000 с эколого-геологическими исследованиями и картографированием / Л. А. Островский, В. Н. Островский, Н. В. Бастракова. М.: ВСЕГИНГЕО, 1995. 27 с.

165. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1:1 000 000 / А. А. Головин, А. И. Ачкасов, К. Л. Волочкович и др. М.: ИМГРЭ, 1999. 104 с.

166. Трофимов В. Т. Эколого-геологические условия и факторы их формирования // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2010. № 1. С. 52–55.

167. Трофимов В. Т., Барабошкина Т. А., Харькина М. А., Жигалин А. Д. Эволюция термина «Геоэкология» в геологии // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2017. Т. 92. № 3. С. 3–11.

168. Трофимов В. Т., Зилинг Д. Г. Геоэкология, экологическая геология и инженерная геология – соотношение содержания, объектов, предметов и задач // Геоэкология. 1996. № 6. С. 43–54.

169. Трофимов В. Т., Зилинг Д. Г., Аверкина Т. И. и др. Теория и методология экологической геологии / Под ред. В. Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 1997. 368 с.

170. Трофимов В. Т., Зилинг Д. Г. Теоретико-методические основы экологической геологии // Экологическая геология и рациональное недропользование: мат. межд. конф. СПб.: Изд-во С.Пб ун-та, 2000. С. 9–10.

171. Трофимов В. Т., Зилинг Д. Г. Учение об экологических функциях литосферы – теоретический базис экологической геологии // Экологическая геология и рациональное недропользование: мат. межд. конф. СПб.: Изд-во С.Пб ун-та, 2000. С. 10–12.

172. Трофимов В. Т., Зилинг Д. К. Концептуальное положение экологической геологии // Экологическая геология и рациональное недропользование. С.Пб: Изд-во С.-Петербургского ун-та. 1999. С. 9–34.

173. Трофимов В. Т., Зилинг Д. Г. Экологическая геология. Учебник. М.: ЗАО «Теоинформмарк», 2002. 415 с.

174. Трофимов В. Т., Королев В. А., Герасимова А. С. Классификация техногенных воздействий на геологическую среду // Геоэкология. 1995. № 5. С. 96–107.

175. Трофимов В. Т., Королев В. А., Харькина М. А. О содержании экологической геологии – новой дисциплины, обязательной для преподавания геологам в классических университетах // В сборнике: Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России. Материалы XVII Геологического съезда Республики Коми. 2019. С. 433–435.

176. Указ Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 г. № 537 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 г.

177. Уломов В. И. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97 [Карты]. Масштаб 1:8 000 000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах / В. И. Уломов, Л. С. Шумилина. М.: ОИФЗ РАН, 1999. 57 с.

178. Уломов В. И., Шумилина Л. С. Проблемы сейсмического районирования территории России. М.: ВНИИНТПИ Госстроя России, 1999. 56 с.

179. Федеральный Закон РФ от 21.02.1992 № 2395-1 (ред. от 08.06.2020) «О недрах».

180. Федеральный Закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения».

181. Федеральный Закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

182. Федеральный Закон от 15 мая 1991 № 1244-1 «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС».

183. Федоров В. Д., Гильмонов Т. Г. Экология. М.: Изд-во МГУ, 1980. 464 с.

184. Философов В. П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. 232 с.

185. Фролов Н. М. Концепция геоэкологической картографии как системы. // Геоэкологическое картографирование. Тез. докл. Всерос науч.-практич конф. Ч. I. М.: ВСЕГИНГЕО, 1998. С. 18–20.

186. Фролов Н. М. Методологическая концепция интеграции наук о Земле в системе «Геоэкология» // Геоэкология: проблемы и решения. Ч. I. Общие проблемы геоэкологии. Тез. докл. и сообщ. Всес. науч.-тех. конф. М.: ВСЕГИНГЕО, 1991. С. 6–9.

187. Черногаева Г. М., Жадановская Е. А., Журавлева Л. Р., Малеванов Ю. А. Загрязнение окружающей среды в регионах России в начале XXI века. М.: ООО «ПОЛИГРАФ-ПЛЮС», 2019. 232 с.

188. Шипулин Ю. К. Геоэкологическое картографирование: некоторые недостатки и возможные пути их устранения // Геоэкологическое картографирование: тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. Ч. I. М.: ВСЕГИНГЕО, 1998. С. 24–25.

189. Эколого-гидрогеологическая карта России. Масштаба 1:5 000 000 / Т. А. Конюхова, С. Р. Крайнов, Л. А. Островский и др. / Под ред. М. В. Кочеткова, Л. А. Островского. Объяснительная записка / В. Н. Островский, Л. А. Островский / Комитет Российской Федерации по геологии и использованию недр, ВСЕГИНГЕО, ИМГРЭ. М., 1995. 33 с.

190. Язиков Е. Г., Шатилов А. Ю. Геоэкологический мониторинг. Учебное пособие для вузов. Томск, 2003. 336 с.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

В учебном пособии применяются следующие термины с соответствующими определениями:

бассейн подземных вод – совокупность водоносных горизонтов и слабо-проницаемых (водоупорных) пластов, характеризующаяся замкнутым балансом подземных вод (т.е. равенством в многолетнем разрезе величин питания и разгрузки подземных вод). *(Методические указания по разработке нормативов предельно допустимых вредных воздействий на подземные водные объекты и предельно допустимых сбросов вредных веществ в подземные водные объекты. Утверждены МПР РФ 29 декабря 1998 г.);*

безопасность – состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз;

безопасность геологическая (син. геологическая безопасность) – состояние защищенности от геологической опасности (возможных угроз) проявления геологических процессов, способных поражать людей, наносить материальный ущерб, разрушительно действовать на геологическую среду;

безопасность национальная *(Указ Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 г. № 537 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 г.)* – состояние защищенности личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз, которое позволяет обеспечить конституционные права, свободы, достойные качество и уровень жизни граждан, суверенитет, территориальную целостность и устойчивое развитие Российской Федерации, оборону и безопасность государства. Решение задач обеспечения национальной безопасности в чрезвычайных ситуациях достигается за счет повышения эффективности реализации полномочий органов местного самоуправления в области обеспечения безопасности жизнедеятельности населения, обновления парка технологического оборудования и технологий производства на потенциально опасных объектах и объектах жизнеобеспечения, внедрения современных технических средств информирования и оповещения населения в местах их массового пребывания, а также разработки системы принятия превентивных мер по снижению риска террористических актов и смягчению последствий чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера [176];

безопасность экологическая – состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздей-

ствия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий;

вероятностно-детерминированное прогнозирование опасных геологических и других природных процессов – использование установленных детерминированных и статистических законов и закономерностей развития этих процессов с учетом вероятностного характера внешних воздействий (режимообразующих факторов) и их возможных сочетаний, а также неоднородностей среды с последующей вероятностной интерпретацией полученных результатов (Л. А. Рагозин, 1997) [143];

водный объект – сосредоточение вод на поверхности суши в формах ее рельефа либо в недрах, имеющее границы, объем и черты водного режима;

водозабор (водозаборное сооружение) подземных вод – гидротехническое сооружение для добычи подземных вод;

водоносный горизонт – это водопроницаемый пласт, насыщенный водой, находящейся в постоянном движении благодаря гидравлической связи и перепаду давления, существующих во всем пласте, и ограниченный водонепроницаемыми породами снизу и сверху или только снизу, или это толща относительно однородных или близких по составу водопроницаемых, насыщенных водой отложений, имеющих пластообразное (ненарушенное) залегание;

вредное воздействие вод – затопление, подтопление и другое вредное влияние поверхностных и подземных вод на определенные территории и объекты;

геодинамические активные зоны (син. – геоактивные зоны) представляют собой участки земной коры, различные по объему, конфигурации и площади, активные на современном этапе неотектонического развития, характеризующиеся пониженной прочностью, повышенной трещиноватостью, проницаемостью и, как следствие, проявлениями разрывной тектоники, сейсмичности и других процессов. Как правило, геоактивными зонами являются мобильные зоны трещинно-разрывных нарушений на границах блоковых структур, узлы пересечения разнонаправленных нарушений, осложняющие неотектонические блоки; внутриблоковые участки сгущения сети нарушений (Копылов И. С., 2014) [63];

геопатогенные зоны – литосферно обусловленные зоны биологического дискомфорта, разделяющиеся на геопатогенные (геопатогенные геохимические и геофизические аномалии) и техногенные зоны, каждая из них соответственно – на геохимические и геофизические аномалии. В составе геопатогенных и тех-

ногеопатогенных геохимических аномалий выделены литогеохимические, гидрогеохимические, атмогеохимические аномалии (В. Т. Трофимов и др, 1997) [169];

геоинформационное пространство территории – сочетание массивов пространственных данных о территории, представленных в двухмерном и трехмерном видах, охватывающих наземное, подземное и надземное пространства, связанных между собой единой координатной основой, позволяющей отображать и обрабатывать пространственные объекты одновременно из разных массивов данных любых масштабов, включая массивы тематических данных различных пользователей. Геоинформационное пространство территории является составной частью инфраструктуры пространственных данных территории;

геологическая среда (с позиции инженерной геологии, по Е. М. Сергееву, 1987) – верхняя часть литосферы (любые горные породы, которые слагают верхнюю часть литосферы), которая рассматривается как многокомпонентная динамическая система, находящаяся под воздействием инженерной деятельности человека, что приводит к изменению природных геологических процессов и возникновению новых антропогенных (инженерно-геологических) процессов, изменяющих инженерно-геологические условия территории. Верхней границей геологической среды является «дневная» поверхность литосферы, нижняя граница определяется глубиной проникновения деятельности человека;

геологическая среда (с позиции геоэкологии) – это комплексная гетерофазная система биосферы, формирующаяся в результате геологически длительного взаимодействия земной коры с внутренними геосферами Земли, а также с гидросферой, атмосферой и живыми организмами. Рассматривается как составная часть экотопа, нообиогеноценозов и экосистем. Геологическая среда включает в себя почвы, горные породы, подземные воды, газы, органические вещества, находящиеся во взаимодействии; она характеризуется проявлением геологических процессов, геологическими, геофизическими и геохимическими полями и находится под влиянием многообразных внешних, в том числе антропогенных нагрузок. Также иногда к геологической среде относят компоненты, традиционно считающиеся частью географической среды – рельеф, ландшафты, почвы многолетнюю мерзлоту. С геологической средой тесно связаны компоненты других природных сред – атмосферного (приземного) воздуха, снеж-

ного и растительного покрова, поверхностных вод. Все эти компоненты требуют изучения при оценке геоэкологической обстановки;

геоэкологическое (эколого-геологическое) картографирование – основной метод исследования пространственного распределения объемов геологического пространства с различными эколого-геологическими условиями, основанный на рациональном сочетании частных прямых или косвенных наземных методов точечного или линейного изучения параметров эколого-геологических условий и методов (площадной) экстраполяции этих данных. Процесс отображения на топографической основе определенного масштаба экологического состояния геологической среды (как многокомпонентного объекта с быстро изменяющимися во времени и пространстве свойствами) в естественных условиях и ее изменений, вызванных хозяйственной деятельностью;

геоэкология (утв. Высшей аттестационной комиссией (ВАК) для паспорта научной специальности ВАК 25.00.36 (1.6.21.) – междисциплинарное научное направление, объединяющее исследования состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов. Основной задачей геоэкологии является изучение изменений жизнеобеспечивающих ресурсов геосферных оболочек под влиянием природных и антропогенных факторов, их охрана, рациональное использование и контроль с целью сохранения для нынешних и будущих поколений людей продуктивной природной среды;

горный отвод – часть недр, предоставляемая юридическому лицу или гражданину для промышленной разработки содержащихся в ней полезных ископаемых, либо для целей, не связанных с их добычей;

государственный контроль (надзор) – деятельность контрольных (надзорных) органов, направленная на предупреждение, выявление и пресечение нарушений обязательных требований, осуществляемая в пределах полномочий указанных органов посредством профилактики нарушений обязательных требований, оценки соблюдения гражданами и организациями обязательных требований, выявления их нарушений, принятия предусмотренных законодательством Российской Федерации мер по пресечению выявленных нарушений обязательных требований, устранению их последствий и (или) восстановлению правового положения, существовавшего до возникновения таких нарушений;

государственный мониторинг водных объектов (*Водный кодекс РФ Статья 30. Государственный мониторинг водных объектов*) [4] представляет собой систему наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния водных

объектов, находящихся в федеральной собственности, собственности субъектов Российской Федерации, собственности муниципальных образований, собственности физических лиц, юридических лиц. Государственный мониторинг водных объектов является частью государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды);

государственный мониторинг геологической среды (ГМГС), или государственный мониторинг состояния недр (ГМСН), территории Российской Федерации – это система регулярного сбора, накопления, обработки и анализа информации, оценки состояния геологической среды и прогноза ее изменений под влиянием естественных природных факторов, недропользования и антропогенной деятельности. Система мониторинга состояния недр территории Российской Федерации включает в себя несколько масштабных иерархически соподчиненных уровней – объектный (локальный), территориальный, региональный и федеральный;

государственный экологический контроль (надзор) – деятельность уполномоченных федеральных органов исполнительной власти и органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, направленная на предупреждение, выявление и пресечение нарушений требований в области охраны окружающей среды посредством организации и проведения проверок юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, принятия предусмотренных законодательством Российской Федерации мер по пресечению и (или) устранению последствий выявленных нарушений, а также деятельность уполномоченных органов государственной власти по систематическому наблюдению за исполнением обязательных требований, анализу и прогнозированию состояния соблюдения обязательных требований при осуществлении органами государственной власти, органами местного самоуправления, юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями и гражданами своей деятельности;

данные дистанционного зондирования Земли из космоса – первичные данные, получаемые непосредственно с помощью аппаратуры дистанционного зондирования Земли, установленной на борту космического аппарата, и передаваемые или доставляемые на Землю из космоса посредством электромагнитных сигналов, фотопленки, магнитной ленты или какими-либо другими способами, а также материалы, полученные в результате обработки первичных данных, осуществляемой в целях обеспечения возможности их использования;

депонирование отходов (лат *depono* – отдать на хранение) – складирование отходов в определенных местах по определенным правилам;

дистанционное зондирование Земли из космоса – наблюдения и измерения энергетических и поляризационных характеристик собственного и отраженного излучения элементов суши, океана и атмосферы Земли в различных диапазонах электромагнитных волн, способствующие определению местонахождения, описанию характера и временной изменчивости естественных природных параметров и явлений, природных ресурсов Земли, окружающей среды, а также антропогенных объектов и образований;

загрязнение водных объектов – сброс или поступление иным способом в водные объекты, а также образование в них вредных веществ, которые ухудшают качество поверхностных и подземных вод, ограничивают использование либо негативно влияют на состояние дна и берегов водных объектов;

захоронение отходов – изоляция отходов, не подлежащих дальнейшей утилизации, в специальных хранилищах в целях предотвращения попадания вредных веществ в окружающую среду;

зона санитарной охраны – территория (акватория), включающая источник водоснабжения и состоящая из поясов, на которых устанавливаются особые режимы хозяйственной деятельности и охраны подземных вод от загрязнения;

инженерно-геологическая съемка (син. инженерно-геологическое картирование) – основной вид геологического изучения территорий в инженерном аспекте на начальной стадии инженерных изысканий. Это комплексная геологическая съемка. Ее задача состоит в изучении и отображении на топографической основе инженерно-геологических условий территорий, т.е. геологических условий рационального использования территорий и их охраны, строительства различных сооружений, производства строительных, горных и других инженерных работ. Конечным итогом инженерно-геологической съемки является составление инженерно-геологической карты (В. Д. Ломтадзе, 1978);

интегральная оценка экологического состояния геологической среды (или интегральная геоэкологическая оценка) является составной частью региональных геоэкологических исследований и картографирования, включает системный анализ природно-геологических и техногенных факторов и ряд методических приемов, связанных классифицированием и ранжированием по экологическому состоянию геологической среды и других компонентов природной среды (природно-геологической среды);

интенсивность – показатель геологической или другой природной опасности, прямо или косвенно характеризующий ее разрушительную силу;

информационное обеспечение территории – совокупность информационных ресурсов, государственных и иных услуг, предоставляемых потребителям этих услуг для решения управленческих, научно-технических, социально-экономических и других задач, обеспечивающих жизнедеятельность территории и ее граждан;

инфраструктура пространственных данных территории – совокупность информационных ресурсов, технологий, систем, нормативных и правовых актов, необходимых для сбора, обработки, актуализации, хранения, распространения, обмена и использования пространственных данных и метаданных;

источник геологического риска – геологическая опасность или совокупность геологических опасностей, которые поражают или могут поразить определенную территорию, объекты хозяйства и (или) население, находящиеся в их пределах;

камеральные работы – общий термин для обозначения работ, проводимых в помещении, в противоположность полевым работам. В научной методологии термин известен как лабораторные или экспериментальные исследования, которые проводятся в квазиуправляемой (подконтрольной) окружающей среде. Камеральная работа часто дополняет полевые работы и направлена на обработку первичного материала (данных), полученного в ходе полевых исследований;

карта геологического риска – графический документ, характеризующий в определенном масштабе возможные потери объектов хозяйства и (или) населения от одной, нескольких или всех установленных геологических опасностей в каждой точке оцениваемой территории;

карта инженерно-геологическая (син. инженерно-геологическая карта) – картографическое отображение, описания, характеристики и оценки инженерно-геологических условий. Чем объективнее и точнее будут изображаться на карте в процессе съемки инженерно-геологические условия, тем большее практическое значение будет иметь ее результат;

карта эколого-геологическая (син. эколого-геологическая карта) – картографическое отображение геологической среды и происходящих в ней процессов, которые оказывают влияние на экосистемы и среду обитания человека;

картографические работы – работы по сбору и обработке пространственных данных в целях обеспечения возможности их последующего отобра-

жения на планах, картах и в атласах (в том числе в электронной форме), включая фотограмметрические и топографические работы, в том числе работы по созданию специальных и топографических карт и (или) планов или иных картографических материалов, предусмотренных соответствующим Федеральным законом;

катастрофа – 1) внезапно реализованная всеобъемлющая по своим крайне неблагоприятным последствиям, масштабам проявления *опасность*, приведшая к массовой гибели людей, крупному экономическому ущербу, ухудшению экологической обстановки; 2) внезапное *событие, быстroteкущий процесс*, влекущий тяжелые последствия, разрушения и жертвы. Это резкое изменение структуры системы (экосистемы), приводящее к разрушению какой-либо ее области. Причиной такого изменения может быть как внешнее воздействие на эту область системы, так и разрядка ее внутренних напряжений, превысивших прочность структуры (В. И. Данилов-Данильян, 1999);

концепция геологической безопасности представляет собой систему взглядов и мер политического, экономического, правового, научно-технического, технологического, образовательного и профилактического характера, направленных на создание геологически безопасной среды обитания нынешнего и будущих поколений людей;

материалы аэрокосмической съемки (или космосъемки) (МАКС) – собирательное название фотоснимков или данных, получаемых посредством аэро- или космических аппаратов в различных диапазонах электромагнитного спектра, визуализируемых затем по определённом алгоритму. Как правило, под понятием МАКС понимают фотоизображения или обработанные данные дистанционного зондирования Земли, представленные в виде визуальных изображений;

метаданные (данные о пространственных данных) – данные, которые позволяют описывать содержание, объем, положение в пространстве, качественные и другие характеристики пространственных данных и пространственных объектов;

мониторинг – система постоянных наблюдений, оценки, прогноза состояния и изменения обстановки местонахождения объекта, проводимая по заранее намеченной программе с целью разработки рекомендаций и управляющих решений, направленных на обеспечение его оптимального функционирования и устойчивого, безопасного развития;

мониторинг геологической среды (син. **литомониторинг, мониторинг состояния недр**) – система регулярных наблюдений, сбора, накопления, обработки и анализа информации, оценки состояния, прогноза изменений геологической среды под влиянием естественных факторов и (или) техногенеза и управления геологической средой или какой-либо ее частью, проводимая по заранее намеченной программе в целях обеспечения оптимальных экологических условий для человека в пределах рассматриваемой природно-технической системы;

мониторинг космический (син. **космический мониторинг**) – получение информации о состоянии земной поверхности с космических аппаратов. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) помогает отслеживать природные процессы, стихийные бедствия, а также изменения, вызванные деятельностью человека и животных;

мониторинг подземных вод – система регулярных наблюдений за изменением состояния подземных вод под воздействием природных и техногенных факторов, непосредственно связанная организационно и методически с решением задач прогноза и управления ресурсами, режимом и качеством подземных вод;

мониторинг подземных водных объектов (подземных вод) представляет собой совместную подсистему мониторинга геологической среды и подсистему мониторинга водных объектов, которые являются составными частями единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ);

мониторинг месторождений подземных вод является одной из разновидностей мониторинга подземных водных объектов. Представляет собой систему наблюдений и сбора информации, оценки и прогнозирования пространственно-временных изменений состояния месторождения под воздействием антропогенных и природных естественных факторов;

мониторинг экологический производственный – термин свободного употребления. По отношению к подземным водам и водным объектам понимается как *мониторинг подземных водных объектов (подземных вод)*, выполняемый производственными предприятиями по специальным ведомственным программам мониторинга для контроля состояния водной среды на территориях их деятельности;

негативное воздействие на окружающую среду – воздействие хозяйственной и иной деятельности, последствия которой приводят к негативным изменениям качества окружающей среды;

недропользователь – субъект предпринимательской деятельности независимо от формы собственности, в том числе юридическое лицо и гражданин другого государства, если законодательством Российской Федерации и законодательством субъектов Российской Федерации он наделен правом заниматься соответствующим видом деятельности при пользовании недрами;

объект геологического риска (син. реципиент риска) – определенная территория вместе с расположенными в ее пределах объектами хозяйства и населением, подверженные негативным воздействиям одной или нескольких геологических опасностей;

объект изучения геоэкологии – 1) геологическая среда и функционирующие с ее участием природные и природно-техногенные экосистемы; 2) природно-геологическая среда, включающая геологическую и географическую среды, при доминирующей роли первой;

объект размещения отходов – специально оборудованное сооружение, предназначенное для размещения отходов (полигон, шламохранилище, в том числе шламовый амбар, хвостохранилище, отвал горных пород и другое) и включающие в себя объекты хранения отходов и объекты захоронения отходов;

опасность – это процесс, свойство или состояние природы, общества или техники, представляющие угрозу для жизни или благосостояния людей, объектов хозяйства или окружающей среды;

опасность природная – процесс, свойство или состояние определенных объемов литосферы, гидросферы или атмосферы, представляющие угрозу для общества;

опасность геологическая (син. геологическая опасность) – возможность (угроза) проявления геологических процессов, способных поражать людей, наносить материальный ущерб, разрушительно действовать на окружающую человека среду; угроза образования нового или активизации существующего геологического или инженерно-геологического процесса с определенными параметрами (интенсивность, повторяемость и т.д.) на определенной площади за заданный промежуток времени. Потенциальное событие в геологической среде, которое не привязано к определенному объекту хозяйства или социума;

опасный геологический процесс – любое изменение состояния приповерхностной части литосферы (геологической среды), обусловленное естественными причинами, которое может привести к негативным для человека, объектов хозяйства и окружающей среды (живой природы) последствиям;

опасный геозкологический процесс – любое изменение состояния геологической и географической среды, обусловленное естественными и техногенными причинами, которое может привести к негативным для человека, объектов хозяйства и окружающей среды (живой природы) экологическим последствиям;

опасный инженерно-геологический процесс (син. **опасный техноприродный процесс**) – подобное описанному выше (см. опасный геологический процесс) изменение геологической среды, вызываемое человеческой деятельностью (техногенный аналог природного процесса);

отходы производства и потребления – остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, иных изделий или продуктов, образовавшиеся в процессе производства или потребления, а также утратившие свои потребительские свойства товары (продукция), которые не могут в дальнейшем быть использованы в месте их образования или обнаружения и от которых их собственник избавляется, имеет намерение или должен избавиться путем утилизации или удаления;

охрана окружающей среды – деятельность органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, общественных объединений и некоммерческих организаций, юридических и физических лиц, направленная на сохранение и восстановление природной среды, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, предотвращение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и ликвидацию ее последствий;

оценка риска – процесс последовательно выполняемых действий по идентификации и прогнозированию опасности (опасностей), оценке уязвимости объекта для этой опасности (опасностей) и установлению возможных потерь объекта и его составляющих для всех случаев реализации опасности (опасностей) с определенной интенсивностью, повторяемостью (частотой) и длительностью воздействия за заданное время;

питьевая вода – вода по своему качеству в естественном состоянии или после обработки, отвечающая нормативным требованиям и предназначенная для питьевых и бытовых нужд человека либо для производства пищевой продукции. В отдельных исключительных случаях при разрешении органов Санэпиднадзора в качестве питьевой воды могут использоваться воды с превышением отдельных нормативных требований;

подземные воды (ПВ) – часть геологической среды – воды, находящиеся в верхней части земной коры (литосферы), распространенные в горных породах в виде отдельных линз, водоносных горизонтов, комплексов и других гидро-геологических подразделений, характеризующиеся различным залеганием, напором (или без него), химическим составом и др.;

подземные воды технические – воды различного химического состава (от пресных до рассолов), предназначенные для использования в производственно-технических и технологических целях, требования к качеству которых устанавливаются государственными или отраслевыми стандартами, техническими условиями или потребителями;

подземный водный объект – термин, используемый в Водном Кодексе (ВК РФ Статья 5. Поверхностные водные объекты и подземные водные объекты) [4] для обозначения бассейнов подземных вод и водоносных горизонтов. Границы подземных водных объектов определяются в соответствии с законодательством о недрах;

полигоны мониторинга подземных вод – совокупность пунктов наблюдений, расположенных в пределах одного природного или природно-техногенного объекта и предназначенных для изучения в натурных условиях изменения состояния подземных вод под влиянием природных и техногенных факторов, процессов взаимодействия поверхностных и подземных вод, опробования и внедрения новых методов и технических средств ведения мониторинга. Полигоны мониторинга ПВ могут включать в себя также специальные сооружения, оказывающие воздействие на водоносную систему. По преобладающему направлению исследований полигоны мониторинга ПВ могут быть воднобалансовыми, гидродинамическими, ландшафтными и т.д.

природно-геологическая среда – основной объект геоэкологического изучения и региональных геоэкологических исследований, включающий геологическую среду (с ее ведущей ролью) и отдельные компоненты географической среды, в объеме, необходимом для изучения эколого-геологической обстановки;

природно-техническая геосистема – совокупность природных и искусственных объектов, формирующихся в результате строительства и эксплуатации инженерных и иных сооружений, комплексов и технических средств, взаимодействующих с природными объектами (геологические тела, почва, растительный покров, рельеф, водные источники и атмосфера) (Л. И. Мухина, О. Н. Толстихин, 1985);

природоохранные мероприятия – любые технологические, технические или организационные мероприятия, реализация которых связана с уменьшением абсолютного или удельного воздействия на окружающую среду, включая использование ресурсов и готовой продукции, с улучшением состояния окружающей среды, с предупреждением отрицательных последствий изменения состояния окружающей среды;

природопользователь – предприятия, организации, а также граждане Российской Федерации, иностранные юридические лица и граждане, лица без гражданства, осуществляющие любые виды деятельности на территории Российской Федерации, связанные с природопользованием;

проверка – совокупность проводимых органами государственного контроля (надзора) в отношении юридического лица, индивидуального предпринимателя мероприятий по контролю для оценки соответствия осуществляемых ими деятельности или действий (бездействия), производимых и реализуемых ими товаров (выполняемых работ, предоставляемых услуг) обязательным требованиям и требованиям, установленным муниципальными правовыми актами;

пространственные данные (пространственная информация) – цифровые данные о пространственных объектах, включающие сведения об их местоположении, форме и свойствах, представленные в координатно-временной системе;

пространственные данные трехмерные (трехмерная пространственная информация) – цифровые данные о пространственных объектах, включающие сведения об их местоположении, форме и свойствах, представленные в трехмерном виде и в четырехмерной координатно-временной системе;

размещение отходов – хранение и захоронение отходов;

рекультивация земель – мероприятия по предотвращению деградации земель и (или) восстановлению их плодородия посредством приведения земель в состояние, пригодное для их использования в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием, в том числе путем устранения последствий загрязнения почвы, восстановления плодородного слоя почвы и создания защитных лесных насаждений;

риск – вероятностная мера опасности или совокупности опасностей, установленная для определенного объекта в виде возможных потерь за заданное время. Осознанная опасность (угроза) наступления в любой системе негативного события с определенными во времени и пространстве последствиями;

риск геологический (син. геологический риск) – вероятностная мера геологической опасности или совокупности геологических опасностей, установленная для определенного объекта в виде возможных потерь за заданное время;

риск дифференцированный (син. риск частный) – вероятностная мера определенной опасности, установленная для определенного объекта в виде возможных потерь за заданное время;

риск индивидуальный – вероятностная мера опасности или совокупности опасностей, установленная для типичного или конкретного представителя определенной группы населения, находящейся в зоне возможного поражения, в виде гибели, ранения, потери здоровья, моральной травмы и других возможных негативных для этого представителя исходов за заданное время;

риск интегральный (син. риск суммарный, риск совокупный) – вероятностная мера совокупности опасностей, установленная для определенного объекта в виде возможных потерь за заданное время;

риск природный (син. природный риск) – вероятностная мера природной опасности, установленная для определенного объекта в виде возможных потерь за определенное время;

риск социальный – вероятностная мера опасности или совокупности опасностей, установленная для определенной группы населения, находящейся в зоне возможного поражения, в виде потерь этой группы (гибель, ранение, заражение, моральная травма и т.д.) за заданное время;

риск физический (син. риск событийный) – вероятностная мера опасности или совокупности опасностей, установленная для определенного объекта в виде числа негативных случаев его поражения с определенным уровнем потерь (количество разрушенных и поврежденных зданий и сооружений, число погибших или получивших ранения, число чрезвычайных ситуаций определенных категорий и т.п.) за заданное время;

риск экономический – вероятностная мера опасности или совокупности опасностей, установленная для определенного объекта в стоимостном выражении его потерь (ущерба) за заданное время;

риск экономический удельный – вероятностная мера опасности или совокупности опасностей, установленная для определенного объекта в стоимостном выражении его потерь на единице площади за заданное время;

твердые коммунальные отходы – 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 нужд. К твердым коммунальным отходам также относятся отходы, образующиеся в процессе деятельности юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и подобные по составу отходам, образующимся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами;

территориальный комплекс опасных геологических и (или) инженерно-геологических процессов (син. территориальный комплекс геологических опасностей) – совокупность синергетически связанных и несвязанных между собой процессов установленного генезиса (типа, вида) с известными характеристиками интенсивности, повторяемости (частоты), площадей поражения и длительности воздействия, относительно одновременно проявляющихся или возможных на определенной территории;

требования в области охраны окружающей среды (син. природоохранные требования) – предъявляемые к хозяйственной и иной деятельности обязательные условия, ограничения или их совокупность, установленные законами, иными нормативными правовыми актами, нормативами в области охраны окружающей среды, федеральными нормами и правилами в области охраны окружающей среды и иными нормативными документами в области охраны окружающей среды;

уязвимость – свойство объекта утрачивать способность к выполнению своих естественных или заданных функций в результате его поражения опасностью определенного генезиса, интенсивности и длительности воздействия. Выражается долей физических, экономических или социальных потерь объекта при поражении указанной опасностью;

факторы геоэкологической (эколого-геологической) обстановки – движущие силы (причины) различных процессов, происходящих в природе, обуславливающих формирование и изменение верхней части литосферы, природных и природно-техногенных ландшафтов, запасов и химического состава подземных вод, геохимических и геофизических полей, месторождений полезных ископаемых, а также приводящих к изменению геологической среды;

федеральный государственный контроль (надзор) – деятельность федеральных органов исполнительной власти, уполномоченных на осуществле-

ние государственного контроля (надзора) на всей территории Российской Федерации;

федеральный государственный экологический контроль (надзор) – деятельность, направленная на предупреждение, выявление и пресечение нарушений юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями и гражданами требований в области охраны окружающей среды, установленных международными договорами Российской Федерации, федеральными законами и принимаемыми в соответствии с ними нормативными правовыми актами Российской Федерации, посредством организации и проведения проверок указанных лиц, принятия предусмотренных законодательством Российской Федерации мер по пресечению и (или) устранению последствий выявленных нарушений;

экологическая безопасность – состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий;

экологическая геология – научное направление в геологии, изучающее верхние горизонты литосферы (включая подземные воды и газы) как одну из абиотических компонент экосистем высоких уровней организации. Ее предметное поле формируется на пересечении биологии и геологии, а собственно предметом исследования являются экологические функции приповерхностной части литосферы. Объект исследований – традиционные для геологических наук сферы Земли (литосфера и ее экологические свойства), а в системном плане – эколого-геологические системы (В. Т. Трофимов и др., 1997) [169];

экологическая емкость геологической среды (геоэкологическая емкость территории) характеризует способность природно-геологической среды к самовосстановлению и нейтрализации вредных антропогенных воздействий, является мерой максимально допустимого вмешательства техногенеза и антропогенеза. Она определяется объемами основных природных резервуаров геологической среды (литосфера, подземные воды, газы и др.), водоемов и водотоков, воздушного бассейна, земельных площадей и запасов почв, биомассы флоры и фауны; мощностью потоков биогеохимического круговорота, обновляющих содержимое этих резервуаров, скоростью местного водно-газового и атмосферного газообмена, пополнения объемов чистой воды, процессов почвообразования и продуктивностью биоты; максимальной техногенной нагрузкой, которую может выдержать и переносить в течение длительного времени совокуп-

ность реципиентов и экологических систем территории без нарушения их структурных и функциональных свойств. Зависит от степени ее прочности и защищенности (или наоборот – уязвимости) от техногенного воздействия. Важнейшим показателем прочности горного массива является степень трещиноватости пород. Ведущими методами картирования тектонической трещиноватости являются аэрокосмогеологические исследования (И. С. Копылов, 2022 [59]);

эколого-геологическая система – определенный (в принципе с любым размером) объем литосферы с функционирующей непосредственно в нем или на его поверхности биотой, включая человека и социум. Она исследуется как многокомпонентная система, включающая породы, подземные воды, нефть и газы, геохимические и геофизические поля и протекающие в ней геологические процессы, влияющая на существование и развитие биоты, в том числе и человеческого сообщества (В. Т. Трофимов, 2010) [173];

эколого-геологическое состояние (син. состояние эколого-геологической обстановки) – временное состояние, оцениваемое спецификой проявления одного, нескольких или совокупностью экологических свойств (функций) литосферы в данный момент времени, определяющих степень (уровень) благоприятности и возможности проживания живых организмов;

эколого-геологические условия (обстановка) – совокупность конкретных экологических свойств (функций) литосферы, отражающих современное или палеосостояние условий жизнедеятельности живых организмов в данном объеме литосферы как среде их обитания. Под эколого-геологическими условиями следует понимать обстановку, создаваемую комплексом современных морфологически выраженных геологических факторов, оказывающих влияние на особенности функционирования биоты, включая человека, в рамках эколого-геологической системы (В. Т. Трофимов, 2010) [173].

Примечания: наиболее общие определения в проблеме оценки опасных природных и техноприродных процессов (ОППП) с использованием показателей опасности и риска сформулировал А. Л. Рагозин (1995 и др.) на основе представлений Е. С. Дзекцера, Г. Л. Коффа, С. М. Мягова, В. И. Осипова, М. А. Шахраманьяна, А. И. Шеко, В. С. Круподерова и др.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АЗ	– аномальная зона
АКГИ	– аэрокосмогеологические исследования
АФС	– аэрофотоснимки
БД	– база данных
ВК	– водоносный комплекс
ГАЗ	– геодинамическая активная зона
ГГД	– гидрогеологическое доизучение
ГДП	– геологическое доизучение
ГИС	– географическая информационная система
ГМГС	– Государственный мониторинг геологической среды
ГМСН	– Государственный мониторинг состояния недр
ГП	– геохимическое поле
ГС	– геологическая среда
ГЭИК	– геолого-экологические исследования и картографирование
ГЭК	– геоэкологическая карта
ДЗЗ	– дистанционное зондирование Земли
ЕГСЭМ	– Единая государственная система экологического мониторинга
ЗВ	– загрязняющие вещества
ИЗВ	– индекс загрязнения поверхностных вод
КС	– космические снимки
МАКС	– материалы аэро-космосъемки
МГХК	– многоцелевое геохимическое картирование
МЭД	– мощностью эквивалентной дозы гамма-излучения
ОВОС	– оценка воздействия на окружающую среду
ОДК	– ориентировочно-допустимые концентрации
ООПТ	– особо охраняемые природные территории
ОГПП	– опасные геологические и другие природные процессы
ОПТП	– опасные природные и техноприродные процессы
ОС	– окружающая среда
ПВ	– подземные воды
ПДК	– предельно-допустимые концентрации
ПТК	– природно-территориальный комплекс
ПТС	– природно-технические системы
ПЯВ	– подземный ядерный взрыв

СДЯВ	– сильнодействующее ядовитое вещество
СПКА	– спектральный полуколичественный анализ
СФК	– структурно-формационный комплекс
ТПК	– территориально-промышленные комплексы
УВ	– углеводороды
ЦМР	– цифровая модель рельефа
ЧС	– чрезвычайные ситуации
ЭГП	– экзогенные геологические процессы
ЭнГП	– эндогенные геологические процессы

Учебное издание

Копылов Игорь Сергеевич

Прикладная геоэкология

Учебное пособие

Редактор *А. С. Серебrenиков*

Корректор *С. А. Вороненко*

Компьютерная верстка: *И. С. Копылов*

Объем данных 15,2 Мб

Подписано к использованию 27.12.2023

Размещено в открытом доступе

на сайте www.psu.ru

в разделе НАУКА / Электронные публикации
и в электронной мультимедийной библиотеке ELiS

Управление издательской деятельности

Пермского государственного

национального исследовательского университета

614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15