

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра региональной геологии и полезных ископаемых

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ПО КУРСУ
«ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ»



КАЗАНЬ
2024

УДК 574(084.3)

ББК 26.17

У91

*Печатается по решению
кафедры региональной геологии и полезных ископаемых
Казанского федерального университета
(протокол № 3 от 4 марта 2024 г.)*

Рецензенты:

кандидат геолого-минералогических наук, доцент **Шиловский О. П.**

кандидат геолого-минералогических наук, доцент **Королев Э. А.**

У91 Учебное пособие по курсу «Эколого-геологические исследования и картографирование» / сост.: Ю. П. Балабанов, Ю. М. Логинова. – Казань: Казан. федерал. ун-т, 2024. – 100 с.

В пособии дана краткая характеристика основных положений, методических приёмов и результатов эколого-геологических исследований. Представлены характеристика и методика составления эколого-геологических карт различного содержания.

Пособие предназначено для облегчения усвоения теоретических основ курса «Эколого-геологические исследования и картографирование» и выполнения лабораторных заданий, а также контроля самостоятельной работы студентов, обучающихся по специальности 05.03.01 «Геология».

УДК 574 (084.3)

ББК 26.17

© Балабанов Ю. П., Логинова Ю. М.

© Казанский федеральный университет, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ	7
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ	15
ТЕХНОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЛИТОСФЕРУ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ	19
ПРИНЦИПЫ РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ	30
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ	33
Аэрокосмические методы.....	33
Маршрутные исследования.....	37
Геофизические исследования	39
Геохимические методы	42
Общие вопросы.....	42
Методика работ	44
Отбор, обработка и подготовка проб к анализу.....	47
Радиометрические и радиогеохимические методы	51
Гамма-спектрометрическая съемка и радиометрия.....	51
Радиогеохимические методы	52
Инженерно-геологические методы.....	54
Изучение экзогенных геологических процессов.....	54
Изучение техногенных грунтов	57
Гидрогеологические методы.....	58
ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ	65
Некоторые методические положения по составлению эколого- геологических карт.....	72
ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ	75
Информация, необходимая для составления эколого- геологических карт.	75

Общие принципы выделения классов состояния эколого-геологических условий и связанных с ними зон нарушения экосистем	76
О признаках выделения на картах территориальных единиц разного содержания	79
ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ ЛЕГЕНД И ОТОБРАЖЕНИЮ НА ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТАХ НЕОБХОДИМОЙ ИНФОРМАЦИИ	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	92
Тесты для контроля самостоятельной работы студентов	93
Литература	98

ВВЕДЕНИЕ

Вся история нашей цивилизации есть взаимодействие человека с окружающей его природой. На этом строятся, по сути дела, представления об окружающем нас мире и его изменениях. На ранних этапах своего развития общество ограничивалось использованием только ресурсной функции литосферы, а негативное воздействие на человеческую популяцию сводилось к природным катастрофическим геологическим процессам. Поэтому можно считать, что человек и природа в те времена находились в определённой гармонии.

Ситуация резко меняется с конца XVII – начала XVIII веков, когда появляются идеи о покорении природы человеком. Но особенно остро проблема воздействия человеческого фактора на окружающую среду ощущается сегодня – в эпоху техногенеза.

В настоящее время практически всеми здравомыслящими представителями научного мира признан факт наличия всеобщего глобального экологического кризиса. Ряд специалистов считает, что пришло время для разработки историко-геологической основы долгосрочного прогнозирования будущего земной экосистемы. Другими словами, назрела необходимость разработки теоретических и методических основ решения глобальных экологических проблем. Не менее актуальным является также практическое решение локальных экологических вопросов, возникающих при техногенном освоении той или иной территории [Трофимов, Зилинг 2002].

На сегодняшний день не существует разделов общественных и естественных наук, которые не занимались бы решением экологических проблем. Экология в этом плане является обобщающей наукой, в которую, в свою очередь, входят экологические направления геологических, географических, биологических, медицинских и социальных научных дисциплин. В геологии сформировалось новое научное направление – экологическая геология, объектом исследования которой являются верхние горизонты литосферы. Теоретические и методологические основы этого направления были заложены В. Т. Трофи-

мовым и Д. Г. Зилингом в работах, опубликованных совместно, в том числе с другими коллегами, в конце 1990-х гг. и в начале нынешнего столетия.

В настоящем пособии рассматриваются вопросы методики применения одного из главных методов экологической геологии – экогеологического картирования. В основу положена предыдущая работа одного из авторов [Балабанов 2007], посвящённая анализу методических приёмов эколого-геологических исследований. Дана характеристика эколого-геологических карт и выполнен анализ методических приёмов их составления. Кроме работ В. Т. Трофимова и Д. Г. Зилинга при подготовке пособия использовались материалы по методике проведения эколого-геологических работ, предложенные работниками Всероссийского научно-исследовательского института гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО).

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ

К настоящему времени эколого-геологические исследования и картографирование (ЭГИК) вошли в практику геолого-съёмочных работ как комплекс полевого, камерального и лабораторного изучения состояния компонентов геологической среды. Это обусловлено воздействием на неё различных негативных факторов как природного, так и антропогенного происхождения и обоснованием мероприятий по её охране и рациональному использованию. ЭГИК – новый и важный метод экологической геологии, изучающий экологические функции литосферы и закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под влиянием природных и техногенных причин в связи с жизнедеятельностью биоты и прежде всего – человека [Трофимов, Зилинг 2002].

Одновременно с этим экологическая геология является составной частью **геоэкологии** – науки междисциплинарной и планетарной. Поэтому геоэкология, в отличие от экологической геологии, изучает состав, структуру, закономерности функционирования и эволюции естественных и антропогенно изменённых экосистем *высокого уровня организации*. Она формируется на пересечении наук о Земле, таких как геология, география и почвоведение, а также науки о жизни – биологии, в состав которой входят, в свою очередь, экологическая география и экологическое почвоведение. Чтобы получить эколого-геологическую информацию, кроме эколого-геологического картирования, используют также инженерную геологию, гидрогеологию, геокриологию, геохимию и геофизику, которые включают в себя ещё широкий спектр частных методов.

Таким образом, **объект исследования в экологической геологии**, если говорить о теоретическом плане, в отличие от геоэкологии, несколько уже. Это только **литосфера** со всеми её компонентами. В прикладном – её приповерхностная часть, расположенная преимущественно в области возможного природного и техногенного воздействия. Литосфера в данном случае исследуется как многокомпо-

нентная динамическая система, в которую входят породы, подземные воды и газы. Следует отметить, что эта система (геологическая среда) оказывает значительное влияние на существование и развитие органического мира, в том числе человеческого сообщества. Её верхняя граница соответствует почвенному слою, а нижняя граница условно определяется глубиной проникновения человека (например, глубинами бурения или проникновения в толщу Земли упругих волн в сейсморазведке и т. д.).

Основными **компонентами геологической среды** являются *почвы, породы зоны аэрации, подземные воды, природные и техногенные газы в свободном и растворённом состоянии и донные осадки*. Выделяют также **свойства геологической среды**, к которым относят её *многокомпонентность, инерционность, природную геологическую ценность, различную степень естественной защищённости, а также способность к самоочищению применительно к определённым видам загрязнителей* [Сычев 1991].

Многокомпонентность среды обусловлена различным сочетанием почв, горных пород, подземных вод с растворёнными и взвешенными в них веществами, а также наличием свободных и растворённых газов, бактерий и микроорганизмов. Указанные компоненты геологической среды устанавливают её определённую типизацию. Для нахождения типа среды ведётся учёт прежде всего геологического строения, а также разнообразных почвенно-ландшафтных и геохимических, инженерно-геологических и гидрогеологических условий, рассматривается также наличие или отсутствие зоны аэрации. В данном случае большое значение приобретают явления тепломассопереноса, связанные с поступлением или выносом тепла, воды, геохимических элементов и соединений, присутствие биологической и газовой составляющей.

Инерционность геосреды определяется скоростью тепломассообмена и его интенсивностью. Например, в подземной гидросфере она на несколько порядков ниже, чем в атмосфере и поверхностных водотоках. Хотя геологическая среда по сравнению с другими природными средами более устойчива к посторонним разного рода воздействиям –

гидродинамическим, механическим, геохимическим, гидрогеохимическим, биологическим, газовым, тепловым, радиоактивным или комплексным (смешанным) – её нарушения ликвидировать значительно труднее.

Способность геологической среды к самоочищению применительно к определённым типам загрязнителей характеризуется **геоэкологическим потенциалом** – параметром, который обуславливает её экологическую устойчивость. Величина геоэкопотенциала зависит от экологической ёмкости этой среды, её способности к восстановлению и самоочищению. Огромную роль в этом играют почвенно-растительный слой и зона аэрации с протекающими в них сложнейшими биологическими, геохимическими, сорбционными и окислительно-восстановительными процессами. Например, буферным слоем для подземных водоносных горизонтов служат почвы и грунты зоны аэрации с относительно высокой поглотительной способностью, определяемой наличием гумуса (сложного органического комплекса с коллоидными и илистыми фракциями, обладающими большой поверхностной энергией). Активное участие в биогеохимических циклах и круговороте в почвах углерода, азота и серы принимают также микроорганизмы, играющие важнейшую роль в очистке биосферы от загрязнителей, а кроме того, в разложении пестицидов, нефтепродуктов, поглощении вредных элементов, связывании и окислении газов и др. **Геоэкопотенциал** в данном случае соответствует предельно допустимой техногенной нагрузке, при которой ещё не происходит необратимых геоэкологических процессов [Сычев 1991].

Всё многообразие взаимоотношений между природной и техногенно преобразованной литосферой и биотой как биологическим видом, так и социальной структурой (человеческим сообществом) можно свести к трём основным **экологическим функциям** литосферы: *ресурсной, геодинамической и геофизико-геохимической* [Трофимов, Зилинг 1998] (рис. 1). Под **экологическими функциями** литосферы «понимается всё многообразие функций, определяющих и отражающих роль и значение литосферы, включая подземные воды, нефть, газы,

геохимические и геофизические поля и протекающие в ней геологические процессы, в жизнеобеспечении биоты и, главным образом, человеческого сообщества» [Трофимов, Барабошкина, Жигалин, Харькина 2006: с. 51].

Ресурсная функция отражает роль минерально-сырьевых ресурсов литосферы и объём геологического пространства в жизнеобеспечении биоты и человека. Оценка ресурсной функции осуществляется по критериям, позволяющим установить уровень выработки экологически значимых минеральных, органоминеральных, органических и водных ресурсов литосферы либо временной обеспеченности ими человеческого сообщества [Трофимов, Зилинг 2002].

Геодинамическая функция характеризует способность литосферы к проявлению и развитию природных и антропогенных геологических процессов и явлений, влияющих на условия жизнеобитания биоты и, в первую очередь, человека. Она оценивается по *площадным* (отношение нарушенной площади к ненарушенной или общей площади в %), *энергетическим* (скорости и объёмы смещаемых пород) и *динамическим* (скорости, темпы нарастания негативных нарушений поверхности и подземного пространства литосферы) критериям.

Геофизико-геохимическая функция представляет собой свойство геофизических и геохимических полей (неоднородностей литосферы природного и техногенного происхождения) оказывать влияние на состояние биоты и здоровье человека. Для оценки *геохимической функции* при химическом загрязнении используют предельно допустимую концентрацию (ПДК), ориентировочно допустимый уровень (ОДУ) или коэффициент суммарной загрязнённости (Z_c); в случае бактериологического загрязнения применяют колититр, а при механическом – ПДК для взвесей. *Геофизическая функция* (практически для всех геофизических полей: электромагнитного, вибрационного, геомагнитного) выражается пороговыми значениями прямых критериев оценки (кВ/м, В/м) через предельно допустимые уровни воздействия (ПДУ).

Материальным носителем проявления экологических функций литосферы, который можно измерить и отразить на картографических

моделях, выступают **экологические свойства** литосферы – одна из сторон, специфический, экологически значимый атрибут, обусловленный природой вещественного состава, геохимических и геофизических полей и органически связанный с жизнеобеспечением биоты, условиями её существования и эволюции. Экологические функции литосферы являются конкретным, реально осязаемым проявлением (выражением) её экологических свойств. Логическим развитием представлений об экологических функциях и свойствах литосферы, позволяющим перейти к оценке материальных носителей этой функциональной информации, являются понятия «**эколого-геологические условия**» и «**состояние эколого-геологических условий**» (рис. 2).

Эколого-геологические условия – это совокупность конкретных экологических свойств (функций) литосферы, отражающих палео- или современное состояние условий жизнедеятельности живых организмов в данном объёме литосферы как среде их обитания. В формировании этих условий ведущая роль может принадлежать как всем экологическим функциям литосферы, действующим одновременно, так и одной из них, например геодинамической, которая в данный период по своей интенсивности или масштабу оказывает наибольшее воздействие на биоту и как бы подавляет роль других функций.

Состояние эколого-геологической обстановки (условий) – временное положение, оцениваемое спецификой проявления одного, нескольких или совокупностью экологических свойств (функций) литосферы в конкретный момент времени, определяющих степень (уровень) благоприятности и возможности проживания живых организмов.

Понятия «**эколого-геологические условия**» и «**состояние эколого-геологических условий**» являются *материальным атрибутом объекта изучения, а характеризующие их параметры можно измерить, оценить, классифицировать, моделировать и картировать.*

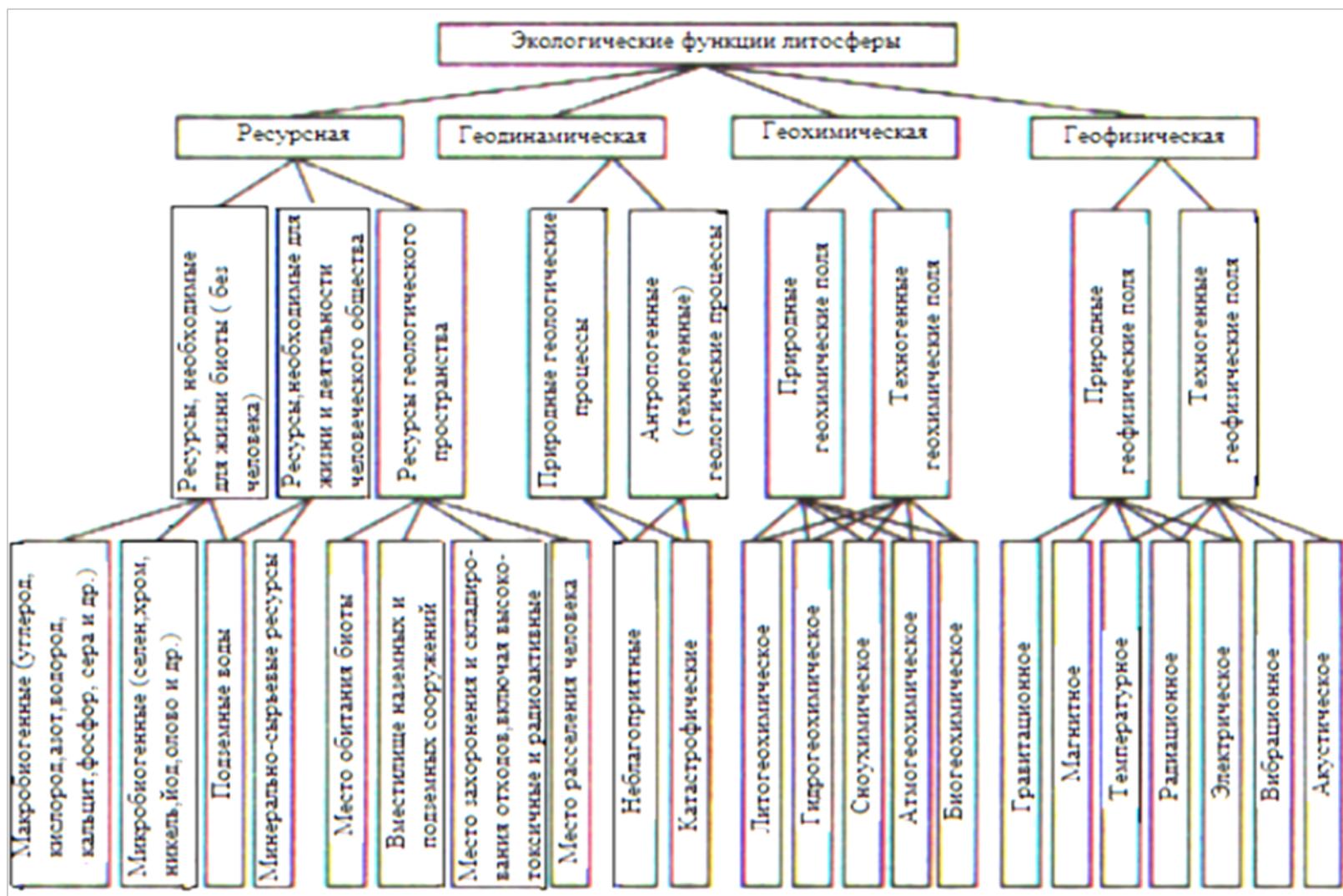


Рис. 1. Систематика экологических функций литосферы [Трофимов, Зилинг 2002]



Рис. 2. Систематика показателей, используемых при оценке состояния эколого-геологических условий [Трофимов, Зилинг 2002]

Оценка состояния эколого-геологических условий проводится на основе анализа показателей трёх типов: площадных, тематических и динамических (рис. 2) [Эколого-геологические карты 2007]. **Площадные (или пространственные) показатели** характеризуют площадь или объём нарушений по отдельным тематическим показателям. **Тематические показатели** демонстрируют состояние эколого-геологической системы, биоты или отдельных компонентов геологической среды. **Динамические показатели** оценивают скорость нарастания неблагоприятных изменений, которые выделяются по тематическим показателям. С точки зрения своего содержания все указанные критерии достаточно разнообразны. Они могут быть *биотическими, геологическими, медико-санитарными или социально-экономическими* и включают по несколько показателей. Все вышеперечисленные показатели воздействия могут быть с точки зрения характера воздействия как прямыми, так и индикаторными. **Прямые показатели** определяются нормативно-директивными документами по отношению к ПДК, к предельно допустимому выбросу вещества (ПДВ), к предельно допустимому сбросу вещества (ПДС) и к предельно допустимой нагрузке (ПДН) либо фоновым значениям и кларку. **Индикаторные показатели** более индивидуальны. В *ресурсной группе* они объединяют остаточные запасы с учётом достигнутого к определённому времени уровня потребления. *Геодинамическая группа*, кроме площадных, объёмных (энергетических) и динамических, включает ещё и медико-санитарные, ботанические и зоологические критерии. В *геохимической группе* проводится оценка степени загрязнения литосферы через биохимические показатели, такие как: Z_c – суммарный показатель химического загрязнения; A_k , показывающий отношение содержания элемента в золе растений к его содержанию в горной породе, коэффициент техногенной нагрузки, а также избыток, недостаток или дисбаланс элементов в породах, почвах и растительности. Оценка критериев *геофизической группы*, за исключением оценки уровня радиационного излучения, разработана очень слабо.

Контрольные вопросы

1. Что изучает геоэкология как наука?
2. Объект и предметы изучения экологической геологии.
3. Основные компоненты геологической среды.
4. Основные свойства геологической среды.
5. Что такое геопотенциал?
6. Основные экологические функции литосферы.
7. Эколого-геологические условия.
8. Состояние эколого-геологической обстановки.
9. Три типа показателей оценки состояния эколого-геологических условий.
10. Прямые и индикаторные показатели состояния эколого-геологических условий.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Основной целью эколого-геологических исследований и картографирования является получение информации об экологическом состоянии геологической среды, отдельных её компонентов (почв, пород зоны аэрации, донных осадков постоянных и временных водотоков, первых от поверхности водоносных, слабоводоносных и водоупорных гидрогеологических подразделений, экзогенных и эндогенных процессов и явлений, техногенно нарушенных и техногенно изменённых ландшафтов и пород, тектонических и неотектонических особенностей территории, техногенных геологических, геофизических, геохимических процессов и явлений, а также техногенных объектов) и об их техногенных изменениях. Анализ данной информации завершается созданием картографической основы соответствующего масштаба, определяемой объёмом выполняемых работ, для оценки экологического состояния геологической среды и принятия решений по природоохранным мероприятиям.

Основными задачами работ являются:

- *определение естественного состояния геологической среды;*
- *выявление техногенных объектов, под влиянием которых происходят негативные изменения геологической среды;*
- *определение изменений геологической среды под воздействием хозяйственной деятельности;*
- *качественная оценка влияния загрязнения и других изменений геологической среды на компоненты экосистем (поверхностный сток, биоту, атмосферу) и среду обитания человека;*
- *качественный региональный прогноз основных тенденций техногенных изменений геологической среды;*
- *обоснование основных мероприятий по рациональному использованию и охране геологической среды;*
- *выделение территорий для более детальных исследований.*

В процессе выполнения работ изучаются:

- *геохимические и радиогеохимические параметры состояния геологической среды и её компонентов (почв, пород зоны аэрации, донных отложений водоёмов и водотоков), а также поверхностных вод;*
- *техногенные объекты, влияющие на геологическую среду;*
- *источники, виды и характер загрязнения почв, пород зоны аэрации, поверхностных вод, болот, донных осадков водотоков и водоёмов;*
- *величины и режим отбора подземных вод для питьевого и хозяйственного водоснабжения и водоотлива;*
- *масштабы и направленность техногенных изменений, условия питания, стока и разгрузки подземных вод;*
- *техногенные изменения минерализации, химического и бактериологического состава подземных вод и водосолеобмена через породы зоны аэрации;*
- *направленность техногенных изменений состояния и свойств пород различных стратиграфо-генетических комплексов;*

– *интенсивность и направленность развития эндогенных и экзогенных геологических процессов, факторы и условия их определяющие, их техногенная активизация;*

– *масштабы и направленность техногенных преобразований ландшафтов и их компонентов (рельефа, режима поверхностных вод, растительности).*

Эколого-геологические исследования и картографирование проводятся с применением комплекса видов и методов исследований, включающих геологические, горно-буровые, опытно-фильтрационные, аэрокосмические, ландшафтно-индикационные, геофизические, геохимические, радиометрические, гидрогеологические, инженерно-геологические и др. Содержит несколько этапов, отличающихся целевым назначением и масштабами.

На *первом этапе* выполняются рекогносцировочные (мелкомасштабные) работы (1:1 000 000–1:500 000) для определения регионального геохимического фона, оценки его отличий от глобальных геохимических параметров, выявления признаков рудо- или антропогенных процессов в регионе или в отдельных его частях. Целевое назначение работ – оценка глобального фонового состояния геологической среды и выявление региональных отклонений от этого фона, вызванных сосредоточением техногенных факторов для планирования природоохранной деятельности на крупных территориях различного хозяйственного освоения или при выяснении площадей воздействия чрезвычайно мощных источников загрязнения, или при ранжировании площадей по степени экологической опасности. Наиболее рациональным является комплекс работ, включающий эколого-геохимическое картирование почв, почвообразующих пород, донных отложений. Отбор проб из депонирующих сред осуществляется на основании карт геохимических ландшафтов с целью получения наиболее типичных ландшафтов территории. В результате работ определяются региональные геохимические фоны во всех изучаемых геохимических ландшафтах (природные и эндемичные зоны, области) и средах. Выделяются крупные зоны (техногеохимические аномальные области, зоны размером

10^4 – 10^5 км²) с различной степенью воздействия техногенных процессов, с разной тенденцией в развитии экологической опасности. Намечаются районы первоочередных работ более крупного масштаба.

На *втором этапе* среднемасштабных эколого-геологических работ (1:200 000–1:100 000) выявляются природные и антропогенные геохимические аномалии (техногеохимические аномальные районы, узлы размером 10^2 – 10^4 км²) в местах расположения крупных объектов хозяйственно-бытовой деятельности (промышленные зоны, отдельные крупные предприятия, сельскохозяйственные территории и т. д.). Основным видом работ является картирование загрязнения депонирующих сред. Изучается химический состав почв и почвообразующих пород, донных отложений, пылевых выпадений. В северных гумидных районах естественным аккумулятором пылевых выпадений из атмосферы является снеговой покров. В аридных районах для оценки поступления техногенного загрязнения из атмосферы применяются пылевые ловушки.

На *третьем этапе* крупномасштабных эколого-геологических работ (1:50 000–1:25 000) выявляются техногеохимические участки, очаги размером 10–100 км², определяются пространственная структура этих аномалий, уровень концентрации химических элементов. Работы этого этапа включают территории городов, населённых пунктов, зон рекреационного назначения и других территорий хозяйственного использования.

Эколого-геологические картографические исследования имеют дифференциацию по исследуемым геоэкологическим объектам, процессам и методам производства работ:

- аэрокосмических (гаммаспектрометрическая, спектральная, инфракрасная съёмка и др.);
- геохимических (литогеохимические, радиогеохимические, биогеохимические, газогеохимические);
- гидрогеологических (картирование водоносных горизонтов, гидродинамических, гидрогеохимических, гидрофизических показателей подземных вод);

– инженерно-геологических (картирование проявлений экзогенных геологических процессов и различных показателей инженерно-геологических свойств горных пород);

– геокриологических (картирование проявлений геокриологических процессов, инженерно-физических свойств горных пород криолитозоны, температурных полей зоны сезонного и многолетнего промерзания и других показателей);

– эколого-геофизических исследований, комплекс которых зависит от специфики геоэкологической обстановки, исследуемых объектов и процессов.

Экологогеологическое картографирование осуществляется в соответствии с требованиями, разработанными в 1990 г. под руководством ВСЕГИНГЕО и Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ) [Требования к геолого-экологическим исследованиям и картографированию 1990].

Контрольные вопросы

1. Основная цель и задачи эколого-геологических исследований.
2. Какие параметры геологической среды изучаются в процессе эколого-геологических исследований?
3. Характеристика основных этапов выполнения эколого-геологических исследований.

ТЕХНОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЛИТОСФЕРУ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Под техногенным воздействием понимают различные по своей природе, механизму, времени действия и интенсивности нагрузки на природные среды, включая литосферу и биоту, связанные с техногенной деятельностью человека. На современном этапе развития цивилизации они достигли своего максимума и создали реальные предпосылки экологического кризиса.

Оценку техногенных воздействий на литосферу и их экологических последствий можно проводить по видам производственной деяте-

льности, по набору и характеру воздействий на определённый компонент литосферы, по природе техногенных процессов или их генетической сущности. Однако наиболее оптимальным является, как считают В. Т. Трофимов и Д. Г. Зилинг, последний, генетический, подход, позволяющий исключить ряд сложностей, возникающих при использовании первых двух направлений [Трофимов, Зилинг 2002]. В первом случае очень затруднительно дать оценку экологических последствий при наложении друг на друга воздействий от отдельных источников загрязнения, когда происходит их суммирование и видоизменение. Во втором случае анализируется какая-то одна составляющая литотехнической системы, что не позволяет комплексно непосредственно ответить на вопрос о техногенных воздействиях.

Реализация генетического направления была осуществлена В. Т. Трофимовым, В. А. Королевым и А. С. Герасимовой [Трофимов, Зилинг 2002] при разработке классификации техногенных воздействий (табл. 1).

Главными таксономическими единицами этой классификации являются **классы**, выделяемые в зависимости от природы техногенного воздействия: *физического, физико-химического, химического и биологического*. Класс физического воздействия подразделяется на **подклассы** (в соответствии с определённым физическим полем). **Типы воздействий** обособляются по признаку «прямого» и «обратного» действия (например, повышение – снижение, нагревание – охлаждение, аккумуляция – эрозия и т. п.), а виды, в свою очередь, – по конкретному техногенному влиянию, связанному с определённой группой источников воздействия (например, отвалообразование, рудники, теплоэлектроцентраль (ТЭЦ), тепловая электростанция (ТЭС) и т. д.).

Первый класс техногенных воздействий на геологическую среду включает воздействия физической природы и состоит из шести подклассов.

К *подклассу механического воздействия* относят техногенные воздействия на геологическую среду механического характера без применения гидромеханизмов. Оно оказывает воздействие на породы, рельеф, а также влияет на некоторые геодинамические процессы.

К подклассу *гидромеханических воздействий* относят механические воздействия с помощью гидромеханизмов, которые также передаются на породы и рельеф, оказывая влияние и на геодинамические процессы.

Подкласс *гидродинамических воздействий* включает собственно гидродинамические воздействия на подземные воды, на их гидродинамический режим. Воздействия этого подкласса оказывают влияние как на вещественные компоненты геологической среды (горные породы и подземные воды), так и на геодинамические процессы. Результатом активизации геодинамических процессов является изменение поверхностного рельефа.

Экологические последствия, обусловленные этими подклассами воздействия, связаны с ресурсной и геодинамической экологическими функциями литосферы, её экологическими свойствами. Экологический диапазон последствий весьма широк. Он выражается в прямом воздействии на человека (снижение комфортности проживания, необходимость отселения и даже гибель людей при деформации и разрушении зданий, горных выработок и крупных инженерных сооружений), а также диких животных (их гибель и миграция в более спокойные места). Последствия этих воздействий проявляются в потерях минерально-сырьевых ресурсов, снижении качества и площадей ресурса геологического пространства. Всё это определяет стабильность функционирования экосистем высокого уровня организации.

Подкласс термических техногенных воздействий обусловлен наличием отклонений тепловых полей от природного фона, которые вне криолитозоны в основном влияют непосредственно лишь на вещественные элементы геологической среды (горные породы и подземные воды), не оказывая особого воздействия на рельеф и геодинамические процессы. В криолитозоне ситуация меняется существенным образом: это воздействие проявляется на всех компонентах геологической среды, включая рельеф и различные геодинамические процессы, и приводит к снижению комфортности проживания населения, трансформации биогеоценозов, изменению качественных и количественных характеристик ресурса геологического пространства.

Таблица 1

Классификация техногенных воздействий

Класс	Подкласс	Тип	Вид	Компоненты геологической среды*					
				5	6	7	8	9	10
1	2	3	4						
Физическое	Механическое	Уплотнение	Статическое (гравитационное)	П	Г	И			
			Виброуплотнение	П	Г	И			Д
			Укатывание	П	Г	И			Д
			Трамбование	П	Г	И			
			Взрывоуплотнение	П	Г	И			Д
		Разуплотнение	Статическая разгрузка		Г	И		Р	Д
			Динамическая разгрузка		Г	И		Р	Д
		Внутреннее разрушение массива	Бурение Дробление Фрезерование Откалывание Рытье, экскавация Взрывное разрушение Распахивание, культивация	П	Г	И			
					Г	И			
					Г	И			
Г	И								
Г	И								
П	Г			И		Р	Д		

Продолжение табл. 1

Класс	Подкласс	Тип	Вид	Компоненты геологической среды*					
				5	6	7	8	9	10
1	2	3	4						
		«Аккумуляция» рельефа	Отсыпка терриконов			И		Р	Д
			Отвалообразование			И		Р	Д
			Создание насыпей			И		Р	Д
			Создание дамб			И		Р	Д
		Планировка рельефа	Строительная планировка	П	Г	И		Р	Д
			Дорожная планировка	П	Г	И		Р	Д
			Рекультивация	П	Г	И		Р	Д
			Террасирование склона		Г			Р	Д
		«Эрозия» рельефа	Формирование выемок	П	Г	И		Р	Д
			Рытье каналов, котлованов, разрезов	П	Г	И		Р	Д
			Подрезка склонов		Г	И		Р	Д
			Образование мульд проседания и опускания	П	Г			Р	Д

Продолжение табл. 1

Класс	Подкласс	Тип	Вид	Компоненты геологической среды*					
				5	6	7	8	9	10
1	2	3	4						
	Гидромеханическое	Гидроаккумуляция рельефа	Гидронамыв дамб, плотин			И		Р	Д
			Намыв золотоотвалов			И		Р	Д
			Намыв насыпей, массивов			И		Р	Д
	Гидроэрозия рельефа	Гидроразмыв массивов Просадочно-суффозионное воздействие		П	Г	И		Р	Д
					Г	И	В	Р	Д
	Гидродинамическое	Повышение напора	Нагнетания, инъекция					В	
Подтопление				Г	И	В		Д	
Орошение			П	Г	И	В		Д	
Снижение напора		Откачки					В		
	Дренажирование	П	Г	И	В		Д		
		Осушение	П	Г	И	В		Д	

Продолжение табл. 1

Класс	Подкласс	Тип	Вид	Компоненты геологической среды*					
				5	6	7	8	9	10
1	2	3	4						
	Термическое	Нагревание	Кондуктивное (< 100 °С)	П	Г	И	В		
			Конвективное (< 100 °С)	П	Г	И	В		
	Обжиг (> 100 °С)		П	Г	И				
	Плавление			Г	И				
	Термическое упрочение			Г	И				
	Биохимическое	П	Г	И	В				
		Охлаждение	Кондуктивное		Г	И	В		
			Конвективное		Г	И	В		
			Замораживание	П	Г	И	В		
	Электромаг- нитное	Стихийное	Наводка электрических полей	П	Г	И			
		Целенаправленное	Электрообработка		Г	И			
			Электроосмос		Г	И			
			Электролиз	П	Г	И	В		
			Электросиликатизация		Г	И	В		

Продолжение табл. 1

Класс	Подкласс	Тип	Вид	Компоненты геологической среды*					
				5	6	7	8	9	10
1	2	3	4						
	Радиационное	Загрязнение	Короткоживущее радионуклидное	П	Г	И	В		
			Долгоживущее радионуклидное	П	Г	И	В		
		Очистка (дезактивация)	Химическое	П	Г	И	В		
			Электрохимическое	П	Г	И			
			Биологическое	П	Г	И			
			Механическое	П	Г	И	В		
Физико-химическое		Гидратное	Капиллярная конденсация	П	Г	И			
			Дегидратация	П	Г	И			
		Кольматирование	Физическое	П	Г	И			
			Физико-химическое	П	Г	И			
Выщелачивание	Прямое		Г	И	В				
	Диффузное		Г	И	В				
Ионнообменное			Солонцевание	П	Г	И			
			Собственно ионнообменное	П	Г	И			

Класс	Подкласс	Тип	Вид	Компоненты геологической среды*					
				5	6	7	8	9	10
1	2	3	4						
Химическое		Загрязнение	Фенольное,	П	Г	И	В		
			хлорфенольное	П	Г	И	В		
			Нитратное	П	Г	И	В		
			Пестицидное	П	Г	И	В		
			Гербицидное	П	Г	И	В		
			Тяжелыми металлами	П	Г	И	В		
			Углеводородное	П	Г	И	В		
			Кислотное	П	Г	И	В		
			Щелочное	П	Г	И	В		
		Засоление							
		Очистка	Нейтрализация	П	Г	И	В		
			Рассоление	П	Г	И	В		
			Разбавление	П	Г	И	В		
Закрепле- ние массивов	Цементация		Г	И					
	Силикатизация		Г	И					
	Битумизация		Г	И					
	Смолизация		Г	И					
	Известкование	П	Г	И					
Биологиче- ское	Загрязнение	Бактериологическое	П	Г	И	В			
		Микробиологическое	П	Г	И	В			
	Очистка	Стерилизация	П	Г	И	В			

Примечание: *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.

В *подкласс электромагнитных техногенных воздействий* включают воздействия со стороны электрических, магнитных или электромагнитных полей. Влияние электромагнитных воздействий проявляется в основном на состоянии вещественных компонентов геологической среды – горных породах и подземных водах, не затрагивая рельефа и геодинамики отдельных территорий. В экологическом плане воздействия аномальных значений данных полей могут приводить к расстройству ритмов головного мозга у человека и нарушению его психической функции, а также разрушению иммунной системы. Для больших городов весьма актуальным и важным является вопрос ограничения режима работы и мощности электромагнитных излучателей (передающих устройств связи).

Подкласс радиоактивных воздействий объединяет воздействия, обусловленные радиацией и оказывающие влияние только на рельеф и геодинамические процессы. В экологическом отношении последствия этих воздействий приводят к онкологическим заболеваниям людей, лучевой болезни, мутагенным изменениям, определяя тем самым возможность существования человека. Аномалии радиационных полей, появление которых обусловлено, как правило, авариями на атомных электростанциях, резко ухудшают качество ресурса геологического пространства.

Второй класс объединяет *физико-химические воздействия* (*гидратное, коагулирование пород, выщелачивание и ионообменное воздействие*), обусловленные различными поверхностными физико-химическими явлениями и поглотительной способностью пород (адсорбция, диффузия, осмос, капиллярные явления и др.) и оказывающие влияние лишь на вещественные компоненты геологической среды. Экологические последствия физико-химических воздействий проявляются в изменении качества геологического пространства как в положительную, так и в отрицательную стороны, а также в изменении ресурсов минерально-сырьевой базы и снижении комфортности проживания населения.

Следующий, **третий, класс** включает *химические воздействия* (*химическое загрязнение, химическая очистка, химическое закрепление массивов горных пород*), вызванные химическим взаимодействием различных веществ и компонентов геологической среды – пород и подземных вод. Эти воздействия оказывают влияние только на вещественные компоненты геологической среды. Экологические последствия химического загрязнения выражаются специфическими формами заболевания населения, развитием мутаций. Техногенное загрязнение приводит также к резкому ухудшению качества ресурса геологического пространства, а иногда и к его потере на длительное время. Химическая очистка и закрепление массивов горных пород приводят к улучшению качества жизни и улучшению качества ресурса геологического пространства.

Четвёртый класс объединяет *воздействия биологической природы* (*биологическое загрязнение и очистка компонентов геологической среды*), связанные непосредственно с деятельностью человека и оказывающие влияние только на вещественные компоненты геологической среды. Экологические последствия этого класса воздействий проявляются либо в увеличении заболеваний людей инфекционными болезнями (загрязнение), либо в улучшении здоровья и качества жизни людей (биологическая очистка компонентов геологической среды).

Разновидности при физическом, физико-химическом и химическом воздействиях выделяются по признакам: времени (постоянные и временные), *размера* (точечные, линейные, площадные, объёмные), *положения* (наземные, подземные), *обратимости* (обратимые, необратимые); *при радиационном типе воздействия добавляется воздействие по виду радионуклидов, а при биологическом – по виду микроорганизмов.*

Контрольные вопросы

1. Основные классы и подклассы техногенных воздействий.
2. Основные типы и виды техногенного воздействия.
3. Компоненты геологической среды, на которые потенциально может передаваться определённый вид техногенного воздействия.

ПРИНЦИПЫ РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

Особенности выполнения эколого-геологических исследований и картирования (ЭГИК) определяются главным образом геологическим строением (платформы или орогены), а также природными ландшафтно-климатическими условиями района, к которым относят тип, зональность природной среды и фазовое состояние влаги в её пределах [Чижов, Гаврилов, Пижанкова 1995].

Различают два типа природной среды (ПС) высшего таксономического ранга: **океанический** и **наземный**. По фазовому состоянию влаги в пределах ПС наземного типа выделяют *пояс многолетнемёрзлых пород* (криолитозона), занимающий около 60 % территории России, и *пояс талых пород*, различающихся по ландшафтно-климатическим условиям и реакции геологической среды на техногенные воздействия. Выполнение ЭГИК в криолитозоне требует проведения геокриологических (мерзлотных) исследований. Этот пояс характеризуется очаговым типом освоения и малой плотностью населения (в среднем 1 чел. на 1 км²), термодинамической неустойчивостью многолетнемёрзлых пород, развитием специфических криогенных процессов и повышенной чувствительностью экосистем к техногенным воздействиям. Техногенное воздействие на ПС связано в основном с разработкой и эксплуатацией минеральных, топливно-энергетических, лесных и водноэнергетических ресурсов, строительством населённых пунктов и транспортными магистралями. *Пояс талых пород* характеризуется большой плотностью населения (до 25 чел. на 1 км²), развитием широкого спектра отраслей промышленности и сельского хозяйства, высокой степенью урбанизации и изменённости ПС, обострением экологических проблем, а также более высокой степенью информационной обеспеченности ЭГИК по сравнению с поясом многолетнемёрзлых пород.

По особенностям геологического строения выделяются два типа областей: *платформы* и *орогены*. Различия при проведении ЭГИК

определяются характером рельефа, дислоцированностью пород, высотной поясностью. Особенно сложны эколого-геологические условия в областях интенсивных горообразовательных процессов с повышенной сейсмической активностью, высоким и глубококорасчленённым рельефом, интенсивным развитием опасных природных процессов и большим разнообразием ландшафтных условий.

Внутри отдельных поясов и областей выделяются по геоботаническому признаку зоны: *тундры и лесотундры, лесов, степей, пустынь и полупустынь*, которым соответствуют определённые климатические условия и степень увлажнения почвенно-грунтового комплекса, а также определённые виды фауны и флоры. Эта зональность оказывает существенное влияние на особенности эколого-экономических систем, наиболее ярко проявляясь в пределах платформ. В зонах орогенеза она осложняется влиянием высотной поясности.

Зона *тундры и лесотундры* расположена в поясе многолетне-мёрзлых пород и характеризуется суровым, избыточно влажным климатом. Природа этой зоны особо чувствительна со стороны её биотической и литогенной составляющих ландшафта к техногенным воздействиям. При выполнении ЭГИК необходимо фиксировать даже незначительные нарушения поверхности и растительного покрова, учитывать широкое распространение термокарстовых, термоэрозионных, морозобойных и солифлюкционных процессов, чрезвычайно низкую способность ландшафтов и природных вод к самоочищению и восстановлению, неблагоприятные медико-климатические условия.

Лесная зона развита в пределах поясов многолетне-мёрзлых и талых пород, имея в каждом из них свои особенности. В пределах пояса талых пород среднегодовая температура воздуха достигает 4–6 °С, здесь преобладают лиственные и смешанные леса, в поясе многолетне-мёрзлых пород среднегодовая температура воздуха опускается до -10 °С, характерна тесная связь растительности с геокриологическими условиями, затруднён процесс её восстановления. При выполнении ЭГИК необходимо учитывать важную роль леса как средообразующего фактора и экологические последствия эксплуатации лесных ресурсов. На аккумулятивных рав-

нинах широко распространены болотные экосистемы, современные процессы заболачивания, сочетающиеся в поясе многолетнемерзлых пород с разнообразными криогенными процессами.

Степная и лесостепная зоны с недостаточно влажным климатом развиты большей частью в пределах пояса талых пород. Для этой зоны характерно наличие развитого земледелия с высокоплодородными черноземными почвами (распаханность до 30–70 %). Выполнение ЭГИК в этой зоне требует обращения особого внимания на состояние водных и почвенных ресурсов, их загрязнение (в том числе пестицидами), развитие ветровой и водной эрозии, заболачивание и засоление орошаемых земель. В поясе многолетнемерзлых пород в ходе хозяйственного освоения возможно образование высокоминерализованных грунтовых вод с отрицательной температурой и высоким содержанием тяжёлых металлов.

Зона пустынь и полупустынь с жарким и засушливым летом и холодной зимой (с температурой до -10° , -17°C) заходит в пределы России небольшой своей частью. В этой зоне широко развиты процессы дефляции и засоления почв.

В пределах *океанической природной среды* выделяются две области: *континентального шельфа (или материковой отмели) и абиссальная*.

Шельфовая область протягивается от береговой линии до изобаты 150–200 м (в отдельных случаях 400 м) и испытывает наибольшее для подводной ПС техногенное воздействие, связанное с разведкой и эксплуатацией месторождений углеводородного сырья, россыпей, интенсивным судоходством, поступлением загрязняющих веществ с материка и эксплуатацией биоресурсов.

В *абиссальной области* техногенные процессы проявляются главным образом в загрязнении поверхностного слоя океана, а воздействия на горные породы, связанные с производством геолого-поисковых и научно-исследовательских работ, носят локальный и кратковременный характер. На формирование эколого-геологических условий значительное влияние оказывают эндогенные геологические процессы.

При проведении ЭГИК необходимо учитывать, что границы описанных поясов, зон и областей на местности образуют переходные участки шириной до нескольких десятков километров, характеризующиеся очень сложными, динамичными и чувствительными к техногенным воздействиям эколого-геологическими условиями. Примером могут служить процессы опустынивания, формирования зоны относительного безлесья тундры, деградации и новообразования многолетне-мёрзлых пород, разрушения береговых уступов и морских пляжей.

Контрольные вопросы

1. Типы природной среды высшего таксономического ранга.
2. Типы областей, выделяемые по особенностям их геологического строения.
3. Зоны, выделяемые по геоботаническому признаку, и их особенности.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

Эколого-геологические исследования и картографирование (ЭГИК) проводят с применением комплекса видов и методов исследований, включающих геологические, горно-буровые, опытно-фильтрационные, аэрокосмические, ландшафтно-индикационные, геофизические, геохимические, радиометрические, гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические и др. Выбор определённых видов и методов работ обуславливается в каждом конкретном случае уровнем и масштабом, а также целью и задачами исследований [Требования к геолого-экологическим исследованиям и картографированию 1990].

Аэрокосмические методы

Использование материалов аэро- и космических съёмок (МАКС) при ЭГИК является обязательным, но их роль и структура опреде-

ляются масштабом работ. Основная цель применения МАКС при ЭГИК – это получение информации о геологических условиях исследуемой территории путём регистрации электромагнитного излучения в различных зонах спектра с последующей интерпретацией полученного изображения. МАКС выступает основой дистанционных аэрокосмических методов исследований поверхности Земли и верхнего слоя земной коры. Дистанционные методы подразделяются на фотографические, сканерные, геохимические, радиационные. В данном разделе рассмотрим фотографические и сканерные методы. По своей повторяемости съёмки подразделяются на одно- и многоразовые, современные и ретроспективные. Многоразовые съёмки позволяют получить информацию о состоянии ландшафта в различных сезонных или суточных условиях. К ретроспективным относят съёмки одного и того же участка, выполненные год и более тому назад.

При выборе МАКС для проведения ЭГИК необходимо соблюдать следующие общие требования по использованию масштабного, спектрального и временного рядов. Использование масштабного ряда подразумевает необходимость сочетания МАКС разных масштабов – основного, отвечающего уровню исследования, и двух других – мельче и крупнее, отличающихся от основного в 2–5 раз. Использование спектрального ряда подразумевает необходимость сочетания МАКС, полученных в различных спектральных интервалах. Использование основного интервала предусматривается на всю территорию, а на отдельные участки – дополнительного интервала для решения специальных задач. В качестве основных МАКС рассматриваются материалы, полученные в широком диапазоне спектра, а в качестве дополнительных – материалы специальных видов съёмок (тепловизионный индикатор критических состояний (ТИКС), радиолокационная (РЛ) и др.). Использование временного ряда подразумевает необходимость применения материалов повторных съёмок для выявления динамики процессов и условий их протекания (современных за период до 5 лет и ретроспективных за время не менее 10–15 лет тому назад). Выбор конкретного

набора МАКС определяется решаемой задачей и видом исследуемых природных и природно-техногенных процессов.

Дешифрирование представляет собой сложный многоступенчатый процесс распознавания природной среды по их аэро- и космофотоизображению с последующей интерпретацией полученной информации. Диагностический аппарат дешифровочного процесса включает в себя дешифровочные признаки и индикаторы. Дешифровочными признаками (ДП) служат внешние особенности отдельных компонентов среды, запечатлённые на аэро- или космическом изображении, которые достаточно уверенно позволяют их идентифицировать. Элементами изображения, определяющими ДП, являются фототон или цвет объекта, его внешняя форма, размеры, ориентированность, внутренняя структура, соотношение с другими объектами, уже опознанными. Индикаторами дешифрируемых при ЭГИК природных и природно-техногенных объектов служат отдельные компоненты природной среды, природно-территориальные комплексы (ПТК) или их сочетания. Индикаторы разделяются на частные и комплексные. К частным относятся отдельные физиономические компоненты ландшафта, коррелятивно связанные с объектами изучения. Среди них выделяются геоморфологические, геологические, гидрографические, геоботанические, почвенные, зоогенные, антропогенные. К геоморфологическим индикаторам относятся формы и элементы рельефа, их морфологические особенности и морфометрические характеристики. Геологическими индикаторами служат состав отложений, выходящих на поверхность, характер их залегания, трещиноватость и другие свойства, наличие разрывных нарушений. Гидрографические индикаторы представляют собой характерные особенности строения гидросети (плановый рисунок), а также крупных водоёмов (распределение глубин, течения, субаквальная разгрузка подземных вод и т. п.). К геоботаническим индикаторам относятся отдельные виды-индикаторы, растительные сообщества-индикаторы, эколого-генетические ряды и сукцессии, геоботанические аномалии (сдвиг фенофазы, угнетённое состояние отдельных видов или сообществ, гигантизм и т. д.). К почвенным индикаторам относятся типы, особенности их поверхностных горизонтов: засоление, смыв, растрес-

кивание, разрушение дернины и т. д. К зоогенным индикаторам относятся проявления жизнедеятельности животных: колонии грызунов, тропы домашних и диких животных, потравы и т. д. Антропогенные индикаторы разнообразны и включают в себя следы различных форм деятельности человека, влияющих на развитие природных и техногенных процессов. К комплексным индикаторам относятся сочетания частных индикаторов. Обычно это ландшафты разного ранга: фации, урочища и т. д.

Основными методическими приёмами дешифрирования МАКС являются:

- последовательное, масштабное и диагностическое приближение;
- анализ и синтез дешифровочной информации;
- индивидуальное и совещательное дешифрирование.

Принцип последовательного приближения обеспечивает постепенное наращивание информации о компонентах природной среды и внутриландшафтных взаимосвязях. Масштабное приближение осуществляется посредством дешифрирования МАКС разных масштабов. Прямое масштабное приближение предусматривает переход от мелких масштабов к крупным и применяется на этапе предварительного (предполевого) дешифрирования при разработке системы дешифровочных признаков и индикаторов. Обратное приближение предусматривает переход от крупных масштабов к мелким и применяется в целях экстраполяции. Диагностическое приближение заключается в неоднородном возвращении к результатам дешифрирования по мере накопления дополнительной информации об изучаемой территории с целью их уточнения и детализации. Дополнительная информация может быть почерпнута из фондовых и опубликованных источников и получена в процессе полевых работ. Результаты предварительного дешифрирования уточняются на полевом этапе (полевое дешифрирование) и на завершающем камеральном цикле.

Анализ и синтез дешифровочной информации являются взаимодополняющими приёмами дешифрирования МАКС. Синтетический подход к дешифрированию наиболее ярко проявляется при использовании МАКС регионального уровня генерализации (УГ), когда

осуществляется предварительное районирование территории по особенностям природных условий и типизации рисунка изображений.

При работе с МАКС применяется *индивидуальное и совещательное дешифрирование*. *Индивидуальное дешифрирование* осуществляется отдельными исполнителями, *совещательное* – проводится совместно несколькими специалистами, которые обсуждают результаты индивидуального дешифрирования и вырабатывают общую концепцию. Совещательное дешифрирование уменьшает субъективность в оценке дешифровочной информации и повышает её достоверность.

Контрольные вопросы

1. Особенности применения МАКС при ЭГИК.
2. Основные методические приёмы применения МАКС при ЭГИК.

Маршрутные исследования

Маршрутные исследования проводятся в границах групп бассейнов и бассейнов местного стока с учётом особенностей геологического строения, проходимости территорий, распространения техногенных нарушений геологической среды.

Линии маршрутов в ненарушенных условиях выбираются по направлению от водораздела к дрене бассейна местного стока, а также вдоль дрены на основе дешифрирования аэрокосмических снимков, анализа геологических, гидрогеологических, геохимических и других карт. Выявленные участки повышенных концентраций загрязняющих веществ в почвах и породах зоны аэрации подлежат пересечению маршрутами. В целях дополнения и уточнения информации, полученной при проведении гидрогеологической съёмки, из родников и самоизливающихся скважин отбираются пробы на химический, в т. ч. микрокомпонентный, анализ. В маршруте производится полевое дешифрирование МАКС, отбор проб на различные виды геохимических анализов, в т. ч. биогеохимических, радиометрические наблю-

дения. При проведении маршрутов вдоль реки, являющейся дренажной бассейном местного стока, отбираются пробы поверхностных вод и литогеохимические пробы донных отложений.

В ходе маршрутных исследований фиксируется состояние растительности, выявляются нарушения в развитии растений, гигантизм или карликовость форм, отклонения в цвете или размерах листьев и других органов растений, появление растений-индикаторов тяжёлых металлов (кагима, мелина). При необходимости прокладываются дополнительные маршруты вкост направления основного. Такая же детализация производится на выявленных участках с повышенным радиационным фоном.

Подлежат обязательному изучению участки развития азональной растительности, не свойственной данной природной зоне. Подобные аномалии, как правило, связаны с особенностями геологической среды: наличием пород, способных регулировать тепловой режим почв (опок, диатомитов), окислением углеводородов, поступлением по разломам глубинных газов и вод. После выявления этих аномальных участков они подлежат детальному изучению.

При проведении маршрутов желательно получить информацию о так называемых геопатогенных зонах, в которых, как известно, отдельные виды растений, животных и человек испытывают стрессогенное воздействие окружающей среды, приводящее к возникновению различных функциональных расстройств, снижению сопротивляемости заболеваниям. Геопатогенные зоны могут быть связаны с аномальными геохимическими полями рудных и нефтегазовых месторождений, природными геофизическими полями, повышенными концентрациями радона, активными разломами. Изучение геопатогенных зон должно являться целью специальных работ с использованием геолого-геофизических, ландшафтно-геохимических и медико-биологических методов. К сожалению, методика выявления этих зон разработана в настоящее время недостаточно. Наиболее эффективный метод их выявления – биолокация с помощью специальной рамки.

В нарушенных условиях бассейновый принцип выбора маршрутов дополняется принципом обязательного изучения техногенных отложений, геохимических и других аномалий. Маршруты в данном случае прокладываются от источника загрязнения геосреды (ГС) по направлению предполагаемого простираания ореола загрязнения почв и пород зоны аэрации с учётом розы ветров и направления потока грунтовых вод.

При выборе маршрутов для изучения загрязнения ГС используются результаты дешифрирования зимних аэро- и космоснимков, на которых участки аэрогенного загрязнения ГС выделяются чёрным фототоном на светлом поле снежного покрова. В процессе маршрута документируются техногенные нарушения рельефа, растительности, почв, экзогенных геологических процессов. По возможности оцениваются нарушения технологии производственного процесса: утечки загрязнённых вод, места их неорганизованных сбросов, наличие свалок и их влияние на геосреду.

В процессе маршрутов производится отбор проб воды на макро- и микрокомпонентный анализ (определение радиоактивных элементов) на действующих водозаборах, участках сброса шахтных и дренажных вод, коммунально-бытовых и промышленных стоков, магистральных каналов на массивах орошения и осушения, накопителей жидких отходов и других техногенных объектов, влияющих на ГС.

Контрольные вопросы

1. Особенности проведения маршрутных исследований при ЭГИК.
2. Выбор линий маршрутов при проведении ЭГИК.

Геофизические исследования

Геофизические методы находят в практике ЭГИК широкое применение, так как позволяют уменьшить объём дорогостоящих и трудоёмких буровых и горных работ, дают количественную оценку изу-

чаемых параметров, в том числе динамики геосреды. С их помощью осуществляется литолого-петрографическое расчленение разрезов скважин, определяются фациальная изменчивость и степень нарушенности пород, изучаются строение и состав донных отложений в озёрах, реках и водохранилищах, даётся оценка защищённости подземных вод от загрязнения, картируются участки повышенной инфильтрации из поверхностных хранилищ отходов, полей фильтрации и других источников загрязнения ГС, выявляются и прослеживаются ореолы загрязнения в породах зоны аэрации и грунтовых водах, активные тектонические разломы, оценивается динамика ореолов загрязнения во времени и т. д. Решение всех перечисленных задач возможно только при комплексировании различных геофизических методов (площадных и скважинных), так как ни один из геофизических методов, использованный в отдельности, не позволяет однозначно и точно решить разнообразные проблемы ЭГИК.

Электроразведка методами постоянного тока (симметрическое (СЭП), дипольное (ДЭП), комбинированное электропрофилирование (КЭП), вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) и др.), вызванной поляризации (ВП), естественного постоянного электрического поля (ЕЭП), радиоволновым (радиокип, радиоволновое просвечивание, радиоволновое зондирование и др.) позволяет решать задачи литолого-петрографического расчленения разрезов, выделения зон повышенной фильтрации и трещиноватости, трассирования тектонических нарушений, оценки засоления пород зоны аэрации и минерализации подземных вод, степени их загрязнения, в т. ч. нефтяными стоками, по площади и в разрезе. При выполнении работ с поверхности водоёмов и комплексировании их с термометрией изучаются условия взаимосвязи поверхностных и подземных вод, строение донных отложений. В криолитозоне электроразведочными методами могут быть выявлены подмерзлотные, межмерзлотные водоносные горизонты, таликовые зоны, методом подповерхностной радиолокации могут быть выявлены участки развития морозобойных и других процессов, приводящих к разрушению покрытий, трасс трубопроводов.

Сейсморазведка методами преломлённых (корреляционный метод преломления волн (КМПВ)) и отражённых (метод отражённых волн (МОВ), метод общей глубинной точки (МОГТ)) волн позволяет определить глубины залегания уровня грунтовых вод, положение водоупоров в зоне аэрации и полного водонасыщения.

Методами *грави- и магниторазведки* устанавливается новейшая тектоническая деятельность.

Каротаж скважин основан на применении электроразведочных, сейсмоакустических и ядерно-физических методов и позволяет проводить литолого-петрографическое расчленение разреза методами стандартного каротажа (каротаж сопротивления (КС), каротаж потенциалов самопроизвольной поляризации (ПС), гамма-каротаж (ГК)), гамма-гамма плотностного и нейтронного каротажа, а также определить характер миграции элементов по вертикали и в плане с использованием ядерно-физических и изотопных методов.

С помощью изотопных методов можно определить направление и скорость движения радиоактивных (третий) и нерадиоактивных изотопов. Для решения этих задач могут быть использованы также красители или флуоресцентные вещества.

Площадные геофизические работы выполняются по профилям. При этом в большинстве случаев точки электро- и сейсмозондирований совмещают друг с другом. В зависимости от геоэлектрических условий разреза применяют либо метод электроразведки постоянным током (ВЭЗ, СЭП, КЭП), либо метод вызванной поляризации (ВП). Метод вызванной поляризации информативнее методов электроразведки на постоянном токе, но он неприменим в условиях сильных промышленных помех и при минерализации вод свыше 10 г/дм³.

При проведении ЭГИК наиболее эффективно, когда площадные геофизические работы и сопровождающее их опорное параметрическое бурение опережают основные виды работ на 2–3 месяца. В этом случае можно целенаправленно размещать буровые скважины, планировать их опробование, корректировать схемы количественной геолого-гидрогеологической интерпретации результатов геофизических работ.

Пенетрационно-каротажные методы рекомендуется использовать для изучения инженерно-геологических свойств техногенных отложений, для получения информации об изменениях свойств пород под влиянием антропогенных воздействий, например уплотнения лёссов в результате их увлажнения и т. п. С помощью полевого испытания пород пенетрационным каротажом производится определение однородности, вида, плотности, объёмной влажности пород, а также приближённо-количественная оценка механических, фильтрационных и просадочных свойств пород. По полученным с помощью пенетрационного каротажа данным можно определить ряд расчётных показателей, в частности плотность скелета пород, естественную влажность, пористость, коэффициент водонасыщения и полную влагоёмкость. Выделение в разрезе слоёв производится по интервалам с близкими значениями всех или большинства полученных параметров.

Контрольные вопросы

1. Особенности проведения электроразведки при ЭГИК.
2. Особенности проведения сейсмических работ при ЭГИК.
3. Особенности выполнения гравимагнитных исследований при ЭГИК.
4. Особенности проведения каротажных исследований при ЭГИК.

Геохимические методы

Общие вопросы

Целью геохимических исследований и картографирования являются установление и характеристика пространственной структуры загрязнений ГС и оценка её экологического состояния по геохимическим показателям. Основными объектами геохимического изучения служат депонирующие среды (почвенный, снежный, растительный покров, донные осадки водотоков и водоёмов), поверхностные воды. Необходимость проведения комплекса геохимических исследований предопределена, во-первых, неоднородностью химического состава геоло-

гической и окружающей сред, связанной как с природными закономерностями, так и с техногенным воздействием, и, во-вторых, существованием поликомпонентных аномалий с их непрерывной трансформацией в зоне гипергенеза.

По характеру миграции загрязнителей (поллютантов) выделяют *аэрогенные* (связанные с переносом веществ воздушными потоками), *гидрогенные* (связанные с водным переносом), *вейстогенные* (связанные с распространением твёрдых отходов в виде свалок, отвалов, при добыче и переработке полезных ископаемых и т. п.) и *комплексные аномалии*. Они могут быть связаны с ореолами рассеяния рудных и других месторождений и рудопроявлений в естественных условиях или представлять собой продукт техногенеза.

По природным средам, вмещающим аномалии, они могут быть *литохимическими* (в почвах, горных породах, донных отложениях), *гидрогеохимическими* (в подземных водах), *снегохимическими* (в снежном покрове), *гидрохимическими* (в поверхностных водах), *атмохимическими* (в воздухе), *биохимическими* (в живых организмах).

При исследовании источников загрязнения объектами изучения являются материалы выбросов, твёрдые отходы и стоки предприятий. Анализ отходов даёт информацию об отдельных звеньях технологических процессов на конкретных предприятиях, а в ряде случаев позволяет оценить воздействия, охватывающие значительные территории.

При изучении *аэротехногенных аномалий*, имеющих часто широкое распространение, оценивается геохимическая структура депонирующих загрязнение сред в первую очередь в пределах автономных ландшафтов, где общая картина выпадений из атмосферы фиксируется наиболее достоверно и мало искажена процессами ландшафтной трансформации. Геохимическое картирование аэротехногенного загрязнения даёт наилучшие результаты на равнинных территориях.

Для *потоков рассеивания* объектом исследования являются стокообразующие системы, т. е. бассейны рек и подземных вод разного порядка. Для малых бассейнов, являющихся основными полигонами

исследований, изучение потоков позволяет пространственно выделить индивидуальные и групповые источники загрязнения и зоны их влияния.

Методика работ

Эколого-геохимический анализ включает изучение фонового состояния ГС, воздействия на неё хозяйственной деятельности, её последствий для биоты, в том числе для человека.

При выборе фоновых территорий важно изучить наиболее распространённые типы ландшафтно-геохимических обстановок. Выбор фона аэротехногенного загрязнения обычно лимитируется возможностью подбора территорий, не испытавших локальных воздействий в результате выпадения загрязняющих веществ из атмосферы. Для гидротехногенных аномалий главная задача – выбор водосбора, в котором отсутствует поступление загрязняющих стоков. При определении геохимического фона особое внимание уделяется депонирующим загрязнение средам. Для анализа аэротехногенного воздействия наиболее сложным представляется определение фона в почвах как универсальной депонирующей среды, фиксирующей многолетнее устойчивое загрязнение. В зависимости от масштаба и задач региональных исследований необходимо учитывать макро-, мезо- и микро-неоднородность в содержании элемента в почве. Макронеоднородность характеризует почвенный покров крупных регионов или зон, мезонеоднородность – территории почвенных областей, микро-неоднородность – почвы близкого механического состава на одной и той же материнской породе.

При изучении макронеоднородности учитываются региональные и зональные характеристики почв определённого типа, выявленные для территорий сравнительно однородных в ландшафтном и геологическом отношении. Для мезонеоднородности, когда исследуется неоднородность распределения химических элементов в пределах одной ландшафтной зоны и одной геологической провинции, главными факторами дифференциации почвенно-геохимических характеристик

являются рельеф, почвообразующие породы и неотектоника. Для характеристики мезонеоднородности распределения химических элементов проводится детальное изучение ключевых участков с заложением площадок в типичных элементарных ландшафтах или подсчёт и сопоставление средних оценок фоновых содержаний для главных типов элементарных ландшафтов в пределах района по результатам выборочного опробования типичных ландшафтов. Повышенные концентрации отдельных микроэлементов нередко наблюдаются вдоль линий тектонических разломов и зон их влияния. Поэтому все (а особенно неотектонические) нарушения должны быть геохимически тщательно изучены. В случае обнаружения аномальных содержаний металлов участки тектонических разломов должны исключаться при подсчёте фоновых концентраций. Опыт исследования геохимического фона показывает, что валовые содержания микроэлементов могут быть использованы в качестве устойчивого природного эталона. При этом надо иметь в виду, что определения валовых концентраций компонентов в депонирующих средах для решения экологических задач недостаточно. Наиболее важным является изучение водорастворимых форм веществ, которые аккумулируются в живых организмах и оказывают на них негативное физиологическое воздействие.

Объём выборки на представительной фоновой площадке, необходимый для характеристики фонового содержания широкого круга элементов, следует принять равным 25 пробам при уровне ошибки среднего 20 % и 10–12 пробам при уровне ошибки 30 %.

Результаты расчёта в пределах одного геохимического сопряжения являются характеристиками локального фона. Региональные фоновые характеристики крупных ландшафтных единиц (районов, провинций) могут быть получены путём объединения локальных выборок, отражающих разнообразие типов ландшафта в пределах изучаемой территории.

С помощью геохимического картирования можно проследить природные и техногенные потоки рассеяния химических элементов, исследовать пространственное распределение элементов с целью установить

границы зон влияния источников загрязнения, а также можно дифференцировать территорию по интенсивности отрицательного воздействия.

При изучении источников загрязнения основная работа сводится к опробованию всех основных видов отходов и предварительной оценке их объёмов.

Для выявления геохимических промышленных аномалий, формирующихся в депонирующих средах воздушными и водными потоками, проводятся плановые геохимические съёмки, связанные с опробованием почвенного, снегового покрова, донных отложений и поверхностных водотоков. Применяют также радиально-лучевой метод или отбор проб по трансектам. В данном случае закладываются профили (протяжённостью от 1–10 до 100 км) в соответствии с розой ветров и формами рельефа под разными углами к направлениям господствующих ветров. Пробы отбираются равномерно с увеличением интервалов отбора по мере удаления от источника загрязнения. Ограничением применения этого метода являются густонаселённые районы с интенсивным хозяйственным освоением, в которых зоны влияния различных источников объединяются в единые очаги загрязнения. Для таких районов наиболее достоверные результаты может дать съёмка по равномерной сети в сочетании с дополнительным выборочным опробованием по отдельным участкам, характеризующимся наибольшей возможной однородностью распределения компонентов загрязнителей. Сеть строится таким образом, чтобы обеспечить выявление характера загрязнения на данном уровне. По сети производится опробование почв, снега и растительности. Оптимальный шаг опробования определяется масштабом съёмки (для работ среднего масштаба он изменяется от 0,5–1 км в центре до 2–5 км на периферии очага загрязнения). При работах среднего масштаба применяют комбинированный метод: сочетание равномерной сети с «кустовым» опробованием центральных зон влияния наиболее мощных источников загрязнения.

Составление комплексных оценочных карт предполагает одновременное опробование нескольких природных сред. Наиболее эффективно сопряжённое опробование системы «снег – почва – раститель-

ность». Растительность отбирается одновременно с почвами, снег – по сети, близкой к почвенной. Опробование донных отложений и природных вод имеет свою специфику. Литохимическая съёмка донных отложений, если позволяет характер гидрографической сети, проводится по сети, близкой к равномерной, с отбором представительных проб через 1–3 км. В зонах влияния конкретных источников сеть сгущается. В отдельных случаях для выявления объёмной структуры наиболее загрязнённых донных отложений (техногенных илов), опробование осуществляется методом створового профилирования. Эффективным способом оценки территории является опробование параллельно с донными отложениями эпифитовзвеси и сепарационной взвеси, получаемой отстаиванием или сепарированием (центрифугированием) больших (до 50–80 л) объёмов воды. Для редкой гидрографической сети применяют профильный вариант опробования с отбором проб из руслового и прибрежного аллювия и устьевых частей притоков более высоких порядков.

Литохимическая съёмка дополняется *гидрохимической съёмкой поверхностных вод* с изучением физико-химических параметров и солевого состава воды. Время проведения гидрохимической съёмки связывают обычно с основными гидрологическими фазами. Такой съёмкой, с учётом природных и техногенных факторов формирования состава вод, охватывается вся гидросеть. Проводится организация специальных гидрохимических режимных наблюдений в зонах воздействия основных источников загрязнения (крупные предприятия, промышленные зоны, города) с целью выявления характера и амплитуды варьирования загрязняющих веществ и изменения их форм миграции, оценки масштабов влияния.

Отбор, обработка и подготовка проб к анализу

При изучении техногенных аномалий в депонирующих средах для получения сопоставимых результатов используется единая система отбора проб.

Почвенные покровы для целей геохимического картирования аэротехногенных аномалий исследуют в самой верхней своей части (до глубины ~5 см), фиксируя так называемый представительный горизонт опробования. Если верхний горизонт почвы подвергался механическому перемешиванию (распашке), то в данном случае представительным является весь нарушенный слой (до глубины распашки ~20 см). При отборе почвенного покрова рекомендуется дополнительно взять смешанный образец, составленный из 12–15 проб в очагах загрязнения и из 4–5 проб, выделенных по методу «конверта» в характерных участках района, удалённых от источника загрязнения. Это позволяет получить характеристики фона и слабых аномалий с ошибкой до 20 %. Средний объём почвенной пробы составляет 300–400 г. Описание почв предусматривает помимо традиционных признаков (механический состав, цвет, структура, влажность, плотность и т. д.) рассматривать наличие инородных включений – бытовых и промышленных отходов. Перед анализом проба просушивается, растирается в фарфоровой ступке и просеивается через сито с отверстиями 1 мм. Сушка пробы до воздушно-сухого состояния проводится на воздухе или в сушильном шкафу при температуре до 60 °С для исключения потери ртути, селена, фтора и других летучих элементов.

Отбор снеговых проб организуется с целью оценить нагрузку загрязнителей на единицу площади за определённое время. Для этого тщательно замеряется площадь снегового шурфа и фиксируется время (в сутках) от начала снегостава. Опробование снега предполагает отдельный анализ снеговой воды, полученной при оттаивании и твёрдого осадка атмосферной пыли, осаждённой на поверхности снегового покрова. Пробы отбираются из шурфов, вскрывающих всю мощность снегового покрова. Вес снеговой пробы должен быть 5–7 кг, чтобы получить при оттаивании не менее 3–4 л воды. Оттаивание пробы осуществляют при комнатной температуре. Твёрдая нерастворимая фракция выделяется путём центрифугирования или фильтрации, просушивается для освобождения от посторонних примесей и взвешивается. Отбор проб проводится, как правило, в конце зимнего сезона, чтобы учесть загрязнение за максимальный

отрезок времени. Вес пыли в снеговой пробе служит основой для определения пылевой нагрузки ($P_{\text{п}}$), т. е. количество твёрдых выпадений на единицу площади за единицу времени. Расчёт ведут по формуле (1):

$$P_{\text{п}} = \frac{P_0}{S \cdot t}, \quad (1)$$

где P_0 – вес пыли в пробе, мг;

S – площадь шурфа, м²;

t – время (от начала снегостава до отбора пробы), сутки.

Дополнительным показателем является характеристика накопления пыли в снежном покрове в пересчёте на жидкую фазу, который рассчитывается по формуле (2):

$$M_{\text{п}} = \frac{P_0}{V}, \quad (2)$$

где P_0 – вес пыли в пробе, мг;

V – объём водной части пробы, л.

Этот показатель характеризует общее загрязнение снежного покрова на конкретной территории и позволяет сравнить между собой отдельные участки. Его использование рекомендуется в том случае, когда расчёт показателей нагрузки за единицу времени затруднён из-за частых оттепелей и снеготаяния в течение зимнего сезона.

Отбор растительности производится одновременно с опробованием почв. Анализу подвергаются наиболее распространённые в районе виды, причём их количество не должно превышать пяти повсеместно растущих растений. На каждой точке опробуются все произрастающие (из числа выбранных) растения. Каждое растение составляет отдельную пробу. При опробовании травянистых растений в качестве пробы отбирается целиком их надземная часть, а у многолетних кустарников и деревьев – только одна часть растений (листья, прирост последнего года, многолетние побеги или кора). Биогеохимическое опробование проводится, как правило, в течение определённой фенологической фазы развития растения. Возможен отбор простых (отбирается одно какое-то растение или его заранее определённая часть) и составных (один вид растения или его определённая часть отбирается

с ключевой площадки размером до 60 м²) проб. Масса биогеохимической пробы составляет 20–50 г сырого вещества зелёных растений.

При опробовании сельскохозяйственной продукции отбирается с ключевого участка одна смешанная проба весом до 1 кг из пяти разных точек, размещённых по методу квадрата.

Все растения высушиваются перед анализами в сушильном шкафу или вентилированием на воздухе при температуре не выше 60 °С. Высушенные растительные образцы измельчаются до размера 3–10 мм с помощью садовых ножниц или секатора и тщательно перемешиваются. Часть этой массы (в объёме, обеспечивающем получение не менее 5 г золы) направляется сначала на озоление при температуре не более 400 °С, а затем на приближённо-количественный и групповой количественный спектральный анализы. Другая часть растительной массы (по объёму близкая к первой) подвергается ещё большему измельчению в специальных мельницах до размера 1–2 мм и направляется на аналитическое определение летучих компонентов (ртуть, фтор, мышьяк, сурьма, селен).

Отбор проб из *донных отложений* осуществляется створовым методом с заложением вертикальных колонок на максимальную мощность илов (для техногенных отложений) и на глубину 20–40 см для собственного руслового аллювия. Количество точек отбора определяется шириной русла, его литологической структурой и гидродинамикой водотока. Пробы отбираются по гидрологическому профилю поперёк русла реки с помощью специального пробоотборника с лодки, перемещающейся вдоль закреплённого на берегах троса. Вес отбираемых образцов определяется предполагаемыми видами литолого-минералогических и химико-аналитических исследований и составляет в среднем 200–300 г. После морфологического описания пробы высушиваются, растираются, просеиваются и распределяются в пакеты из кальки или пластиковые контейнеры в соответствии с дальнейшими исследованиями.

Одновременно с изучением донных отложений осуществляется анализ *иловых (поровых) вод*, выделяемых из илов с помощью специального прибора путём отжимания под давлением.

Изучение воды и взвешенного материала проводится на пробах, отбираемых с помощью специальных приборов (батометров) на определённой глубине, а с поверхности – с помощью обычных полиэтиленовых или винилпластиковых белых вёдер. Проводится предварительная обработка проб воды: разделение растворённых и взвешенных форм элементов с помощью ультрафильтрации через специальные мембранные фильтры под вакуумом или под давлением инертного газа в день отбора. Взвесь на фильтрах высушивается и хранится в чашках Петри для дальнейших анализов. Водный фильтрат объёмом 50–80 л отстаивается в течение суток в белых полиэтиленовых баках. Затем вода сливается с помощью сифона, а полученный отстой помещается в бюксы и досушивается в сушильных шкафах при температуре 50–60 °С. Чтобы получить большие объёмы взвеси, применяют центрифуги с многокамерными и барабанными сепараторами непрерывного действия.

Радиометрические и радиогеохимические методы

Гамма-спектрометрическая съёмка и радиометрия

В ходе съёмки выявляются и оконтуриваются участки с повышенным радиационным фоном, определяются их размеры, тип (природный или техногенный), а также уровень концентраций радиоактивных элементов. *Аэрогамма-спектрометрическая съёмка* выполняется на самолётах типа АН-2 или вертолётах МИ-8 с применением многоканальных высокочувствительных серийных станций, имеющих запись информации на магнитные цифровые носители. Отчётным материалом является комплект аэрогамма-спектрометрических карт: удельной эффективной активности (ЕРЭ), мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МЕД), плотности поверхностного загрязнения (ИРЭ) (цезий-137, -134; кобальт-60 и др. в зависимости от вида радиационного загрязнения),

локальных аэрогамма-спектрометрических аномалий. Все карты представляются в изолиниях, в цветном изображении.

Автогамма-спектрометрическая съёмка выполняется с помощью автотранспорта и используется для детализации выявленных ранее с самолётов или вертолётов локальных и площадных радиоактивных аномалий. При проведении этой съёмки выделяются, во-первых, аномалии, связанные с основными или побочными продуктами технологических процессов, в том числе обусловленные источниками радионуклидов малой и большой активности, во-вторых, аномалии, обусловленные повышенным содержанием радионуклидов в горных породах, материале дорожного покрытия, стройматериалах зданий и т. п., и, в-третьих, аномалии, вызванные авариями на ядерных установках. В процессе детализации аномалии оценивается её природа (ЕРЭ или ИРЭ), конфигурация и определяется положение пунктов различной интенсивности гамма-излучения.

Пешеходные радиометрические наблюдения выполняются для определения уровня радиационного фона и аномалий. Они производятся в процессе проведения маршрутов на высоте 1 м от поверхности земли на площадке размером 5 × 5 м по её углам и в центре (средняя величина). Для наблюдения используется дозиметры типа ДРГ-01Т, ДРГ-05М; радиометр СРП-88-01Т, эталонизированный по цезию-137. Измерения в донных отложениях водоёмов и водотоков выполняются радиометром СРП-68-02 с герметичной гильзой.

Радиогеохимические методы

При выполнении этого вида работ осуществляется отбор проб на радиогеохимические определения по участкам выявленного радиоактивного загрязнения непосредственно с поверхности почвы, а также поинтервально по глубине разреза. В ходе поверхностного опробования регистрируются главным образом техногенные радионуклиды, поступившие в почву за последние годы, а при поинтервальном – радионуклиды, связанные с более ранними событиями (например, испытаниями ядерного оружия), или природные радиоактивные элементы.

Пробы грунта отбираются с помощью металлического шаблона в виде цилиндра, который вбивается в верхний слой почвы, а затем подрезается снизу лопатой. Образцы почв упаковываются в полиэтиленовые пакеты. Поинтервальное опробование следует осуществлять в пределах аккумулятивных элементов рельефа, из стенок шурфов глубиной 0,7–1 м бороздовым методом послойно снизу вверх. Мощность опробованных слоёв от 2 до 5 см. Глубина борозды 5 см. Поинтервальное опробование донных осадков проводится с помощью бурения или заглублением гильз-пробоотборников.

Для радиогеохимического изучения воды проводится отбор водных проб с помощью концентратора объёмом 100–120 л.

Точки отбора проб при радиогеохимических исследованиях располагаются по профилям, позволяющим выполнить комплекс опробования водоразделов, склонов и долин, конечных бассейнов твёрдого и жидкого стоков (болот, озёр, морей, солончаковых понижений и т. д.). Количество отбираемых проб рассчитывается с учётом необходимости охарактеризовать все генетические горизонты и материнские породы.

Контрольные вопросы

1. Типы геохимических аномалий.
2. Особенности изучения различных типов геохимических аномалий.
3. Вопросы методики проведения эколого-геохимических исследований.
4. Методика отбора проб и подготовки их к анализу при эколого-геохимических исследованиях.
5. Методика радиометрических и радиогеохимических методов при ЭГИК.

Инженерно-геологические методы

Изучение экзогенных геологических процессов

Целью работ являются выявление направленности развития экзогенных геологических процессов (ЭГП) под влиянием техногенных факторов и оценка степени их опасности, особенно для населённых пунктов. Степень опасности ЭГП определяется генетическими особенностями, а также катастрофичностью их проявления. В таблице 2 приводится классификация ЭГП по этим признакам, разработанная М. М. Максимовым во ВСЕГИНГЕО [Методические рекомендации по эколого-геологическим исследованиям 1995].

На первом этапе проводят дешифрирование аэро- и космоснимков. Особое внимание уделяется территориям населённых пунктов и распространения техногенных объектов. Затем выполняются маршрутные исследования, в процессе которых фиксируются участки техногенной активизации ЭГП, современное состояние участков их развития, признаки активизации (характер поверхности склонов, их обводнённость, состояние растительности, свежие обнажения, трещины, скопления обломочного материала, провалы, увеличение воронок, деформации берегов рек, озёр, водохранилищ и т. п.). В криолитозоне изучаются динамика наледей, техногенная активизация термокарста, пучение грунтов и другие процессы. Дается оценка степени опасности проявления ЭГП для сооружений. Определяется роль техногенеза в активизации ЭГП.

Для оценки подверженности ЭГП хозяйственных объектов необходимы данные о скорости их развития, механизмах, техногенной активизации.

По результатам работ уточняются прогнозы направленности ЭГП и оценка их опасности для среды обитания человека.

Характеристика катастрофических экзогенных геологических процессов

Категория катастрофичности	Экзогенные геологические процессы	Характер активизации процессов	Развитие активизации процессов на территории	Основные объекты воздействия ЭГП				
				Преимущественно подверженные воздействиям	Люди	Промышленно-гражданские сооружения	Транспортные магистрали	Сельскохозяйственные угодья
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I. Высокая	Сели	Внезапный (без предвестников)	На отдельных участках, иногда на больших площадях	Прямая угроза жизни людей, угроза хозяйственным объектам	2	2	2	-
	Оползни			2	2	2	1	
	Сход лавин			1	1	2	-	
	Карст			1	2	2	1	
II. Потенциально высокая	Обвалы	Внезапный (без предвестников)	На отдельных участках, рассредоточено	Транспортные магистрали, косвенно (в случае образования запруд) угроза людям и объектам	1	1	2	-
	Осыпи				1	1	2	-

Категория катастрофичности	Экзогенные геологические процессы	Характер активизации процессов	Развитие активизации процессов на территории	Основные объекты воздействия ЭПГ				
				Преимущественно подверженные воздействиям	Люди	Промышленно-гражданские сооружения	Транспортные магистрали	Сельскохозяйственные угодья
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ш. Средняя	Просадки	Постепенный (с очагами разной активности)	Площадное, иногда с очагами повышенной активности	Угроза хозяйственным объектам	2	1	-	-
	Овражная эрозия			1	2	2	2	
	Подтопление			2	2	2	-	
	Суффозия			2	1	-	-	
IV. Умеренная	Абразия	Постепенный (с очагами разной активности)	Преимущественно линейное	Транспортные магистрали, реже промышленно-гражданские объекты	-	1	2	-
	Речная эрозия			-	1	1	1	
	Переработка берегов водохранилищ			-	1	1	1	

Примечание: 1) Под транспортными магистралями понимаются железные и автомобильные дороги, трубопроводы, линии электропередачи (ЛЭП). 2) Цифры в таблице означают степень подверженности людей и хозяйственных объектов воздействию ЭПГ: 1 – умеренное, 2 – высокое.

Исследования направлены на получение информации о площадях распространения техногенных пород, их мощностях и литологическом составе, о направленности формирования и изменения техногенных пород во времени.

К *техногенным* породам (грунтам) относят искусственные отложения, а также породы, преобразованные физическими, физико-химическими, химическими процессами, проявляющимися в ходе прямого или косвенного воздействия на них хозяйственной деятельности. Основой изучения и картографирования техногенных пород является их генетическая классификация. Выделяют *три группы техногенных пород*. К первой группе относят *техногенно-изменённые* породы, представляющие естественные горные породы, претерпевшие те или иные изменения на месте залегания. Эта группа образуется при всех техногенных воздействиях, наиболее разнообразна и широко распространена. Ко второй – *техногенно-переотложенных* пород – относят породы, образовавшиеся из материала природных горных пород при его перемещении с мест естественного залегания с помощью технических средств (насыпи, обвалы, планировочные подсыпки и т. п.). Третья группа, *техногенно-образованных* пород, включает породы, сформированные из не встречающихся в естественных условиях веществ либо из глубоко переработанного, вплоть до изменения химического и минералогического состава природного материала. Образуются они при искусственном закреплении грунтов, в результате складирования отходов и т. д. Все три группы техногенных пород образуют между собой парагенетические комплексы.

Парагенетические комплексы техногенных пород разделяют по *составу пород и по физическому времени* с учётом степени стабилизации происходящих в породе процессов техногенеза на *новообразованные* (до 1,5 года), *молодые* (менее 5 лет), *старые* (от 5 до 15 лет) и *давние* (старше 15 лет).

Выделение техногенных пород и границ их распространения проводят по изменению основных характеристик структуры геологической среды:

- морфометрии ландшафтного строения;
- морфометрических показателей рельефа;

- элементов залегания, мощности и последовательности напластования пород;
- соотношения процентных содержаний фракций в породе;
- параметров закона распределения и режима изменчивости показателей свойств, структуры их взаимосвязей;
- размеров и пространственного расположения структурных элементов полей геологических параметров.

Полевые исследования пород выполняются преимущественно скоростными методами по профилям, пересекающим техногенные тела от источника воздействия к границам зоны его влияния. Проводится определение показателей свойств, предусмотренных действующими руководствами. Дополнительно к классификационным и косвенным показателям свойств определяют ёмкость обмена, состав обменных катионов, содержание карбонатов, засоленность, а для пород второй и третьей групп – химический и минералого-петрографический составы.

Контрольные вопросы

1. Цели и задачи изучения экзогенных геологических процессов при инженерных исследованиях.
2. Особенности изучения техногенных грунтов при ЭГИК.
3. Характеристика катастрофических ЭГП.

Гидрогеологические методы

Работы направлены на изучение гидрогеологических процессов, связанных с техногенезом, и позволяют решить следующие задачи:

- оценить условия защищённости подземных вод от загрязнения;
- выявить источники и участки загрязнения, истощения ресурсов подземных вод, особенно на питьевых водозаборах;
- изучить другие техногенные изменения подземной гидросферы, влияющие на экологическое состояние геосреды, получить информацию об их воздействии на ЭГП, поверхностные воды, растительность, состояние мёрзлых толщ в криолитозоне;
- оценить направленность техногенных изменений подземной гидросферы.

Решение **первой задачи** предусматривает *сбор данных о распространении и мощностях слабопроницаемых и водоупорных пород, их сорбционных свойствах*. Иногда для исследования геофильтрационных параметров слабопроницаемых пород применяют геофизические методы. Для этой цели проводят бурение единичных параметрических скважин. По возможности выделяют так называемые фильтрационные окна, через которые загрязнители (поллютанты) могут проникнуть в основной водоносный горизонт. Сорбционные свойства пород изучаются по данным лабораторных определений, в частности минералогических анализов глинистой фракции пород. Известно, что наибольшей поглощающей способностью обладают минералы монтмориллонитовой группы, наименьшей – каолинитовой. По этим материалам составляется карта защищённости подземных вод от загрязнения.

В ходе решения **второй задачи**, одной из основных при выполнении ЭГИК, предусматривающей *изучение условий и характера техногенного загрязнения подземных вод*, выявляются и типизируются основные источники их загрязнения. К ним, как известно, относятся гражданские и промышленные объекты, места и условия сброса жидких и твёрдых отходов, их хранения и утилизации, объекты сельскохозяйственного производства, а также участки хранения удобрений и ядохимикатов. Предварительная оценка спектра загрязняющих веществ промышленных предприятий приводится в таблице 3.

Выполнение ЭГИК предусматривает обязательное изучение изменений подземной гидросферы вокруг крупных хозяйственных объектов (металлургические заводы, целлюлозно-бумажные комбинаты, химические комплексы и т. п.). Обследуются все централизованные водозаборы питьевых подземных вод. Анализируется информация о величине отбора подземных вод, изменениях величин отбора и качества подземных вод во времени, динамике развития депрессионной воронки, нарушениях условий эксплуатации водозабора. Для этого проводится бурение картировочных скважин с отбором гидрохимических проб с поверхности первого водоносного гидрогеологического подразделения.

Основные загрязняющие вещества промышленных предприятий

Вид промышленности	Макрокомпоненты	Микрокомпоненты	Органические вещества
1	2	3	4
Черная металлургия: чугунолитейное производство	CO ₃ , NO ₃ , SO ₂ , аммиак	Co, Mo, Ni, Pb, Cd, Zn, Cu, Sn, цианиды, фенолы, W	формальдегиды, полиароматические углеводороды (ПАУ)
Цветная металлургия: комплексный выпуск цветных металлов, производство сплавов, производство вторичных цветных металлов	Нитраты, сульфаты	Zn, W, Sn, Cd, Pb, Sb, Mo, Cr, Sr, Ni, F, Al Sb, Cd, Zn, W, Pb, Cr, Sn, Mo, Co, Sr, As Pb, Hg, Zn, Sn, C, W, Ni	
Приборостроение: аккумуляторное производство, радиотехническое производство, электротехническое производство		Sn, W, Pb, Hg, Cu, Cr, Ni Cd, W, Zn, Sn, Pb, Cu, Bi, Mo, Ni, Ag Cu, Zn, Pb, Co, Mo, Ni, Cr, Bi	
Машиностроение и металлообработка: точное машиностроение, производство бытовых изделий, тяжёлое машиностроение, лёгкое машиностроение		Pb, Zn, W, Cu, Bi, Ni, Cr, Mo Mo, Zn, W, Pb, Cu, Bi, Ni, Cr, Sn W, Zn, Pb, Hg, Cu, Ni, Cr, Sn W, Hg, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr, Co, Sn	

Вид промышленности	Макрокомпоненты	Микрокомпоненты	Органические вещества
1	2	3	4
Топливные заводы			Пары карболовой и других кислот
Текстильные предприятия			Органические красители, жирные и другие кислоты
Предприятия пищевой промышленности	Азот, фосфор, калий, аммиак		Жирные кислоты
Производство стройматериалов	Хлориды	Hg, Sr, Zn, Mo, Co, P, U, Ni, Cu	

Количество и расположение скважин определяются конкретными задачами работ с учётом особенностей гидрогеологических условий территории. Для выявления участков загрязнения подземных вод привлекаются геофизические, в т. ч. радиометрические (при радиоактивном заражении), методы. Привлекается информация о загрязнении почв и пород зоны аэрации.

Решение **третьей задачи** ЭГИК, представляющей собой *сбор данных о влиянии техногенных изменений подземной гидросферы на ЭГП и компоненты ландшафта*, осуществляется в ходе выполнения рассмотренных выше гидрогеологических работ, а также дешифрирования МАКС и маршрутных исследований. На основании дешифрирования МАКС выявляются участки подъёма грунтовых вод и техногенного заболачивания, а затем определяется влияние установленного процесса на развитие карста, просадок и других ЭГП.

Последняя, **четвёртая**, из поставленных в данном разделе перед ЭГИК задач, представляет собой *оценку динамики техногенных гидрогеологических процессов*. Её решение осуществляется в ходе анализа данных режимных наблюдений, сопоставления разновременных карт и аэро-, космоснимков, а также оценки возможных скоростей миграции загряз-

няющих веществ расчётными методами с использованием полученных ранее параметров.

Наиболее представительную информацию о характере техногенного воздействия на подземную гидросферу содержат первые от поверхности гидрогеологические подразделения.

При гидрогеологических исследованиях в криолитозоне получают информацию об изменениях во времени динамических характеристик подземных вод, их качества, температуры, а также выявляют и оценивают искусственные режимообразующие факторы.

Все техногенные процессы и явления рассматривают на фоне естественных изменений мерзлотно-гидрогеологических условий. Выделяют три категории территорий по степени их устойчивости к развитию криогенных и гидрогеологических процессов под влиянием техногенных факторов:

1) весьма неустойчивые территории, на которых под влиянием короткопериодических колебаний изменяется температура в подошве слоя годовых колебаний температур, происходит промерзание влажных или протаивание льдистых и сильнольдистых пород, сопровождающееся интенсивным развитием термокарста, термоэрозии, пучения, солифлюкции и др.;

2) неустойчивые территории, на которых температура пород и подземных вод в подошве слоя годовых колебаний температур изменяется под влиянием короткопериодных колебаний, но границы между мёрзлыми и водоносными породами практически остаются неизменными, слабовлажные породы при этом промерзают, а нельдистые – протаивают, что приводит к усилению мерзлотных и гидрогеологических процессов;

3) устойчивые территории, на которых происходит промерзание слабовлажных или протаивание нельдистых пород без усиления существующих или возникновения новых криогенных и гидрогеологических процессов.

Влияние техногенеза в северных районах особенно значительно. Криолитозона способствует сохранению последствий техногенного воздействия и наиболее чутким индикатором при этом являются подземные и поверхностные воды. В геохимическом плане усиливается миграция природных нормируемых компонентов, появляются устойчивые концен-

трации техногенных загрязняющих веществ: азотных и органических, неорганических соединений, фенолов, нефтепродуктов, рудных элементов и других веществ, не свойственных природным условиям. Специфической чертой *геохимии природных поверхностных и подземных вод криолитозоны* является широкое развитие в них нормируемых компонентов железа, марганца, реже фтора, сероводорода, форм азота. Эти геохимические свойства вод являются следствием специфики процессов выветривания пород и почвообразования в криолитозоне.

В ходе съёмочных работ в криолитозоне изучается химический состав поверхностных и подземных вод, проводятся массовые определения рН-Eh условий. Выявленные по этим показателям отклонения от фоновых условий свидетельствуют о наличии либо природных, либо техногенных аномалий. В условиях северо-востока отчётливым показателем загрязнения природных вод является аммоний, легко определяющийся при маршрутных исследованиях. На единичных опорных водопунктах рекомендуют выполнять изотопные исследования (на присутствие дейтерия; кислорода-18; углерода-13, -14; трития). Изучение стабильных изотопов воды (дейтерия и кислорода-18) позволяет выявить источники питания вод, так как глубокие подземные воды содержат более тяжёлые изотопы воды, а атмосферные осадки – лёгкие. Изучение углерода-13 позволяет установить роль техногенеза, связанного с накоплением в водах и карбонатных отложениях лёгкого углерода, и сделать вывод о происхождении самих карбонатов. Результаты гидрогеохимических исследований увязываются с материалами геохимического изучения почв, донных осадков, пород зоны аэрации.

Контрольные вопросы

1. Основные задачи гидрогеологических работ при ЭГИК.
2. Особенности выполнения гидрогеологических работ при ЭГИК в криолитозоне.
3. Основные загрязняющие вещества промышленных предприятий.

ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ

По результатам выполненных исследований составляются эколого-геологические карты. **Эколого-геологическая карта** представляет собой графическое обобщённое изображение на топографической основе оценки состояния компонентов литосферы, отражающих её экологические свойства (функции). Основным картируемым *показателем является интегральная покомпонентная оценка эколого-геологических условий (эколого-геологического состояния) литосферы*, влияющих на условия существования биоты (включая условия проживания человека), ранжированная по классам состояний, учитывающих степень благоприятности проживания населения или состояния биоты. Она выполняется на основе анализа её экологических функций: *ресурсной, геодинамической и геофизико-геохимической*. В настоящее время принята четырёхранговая оценочная структура, разработанная для экосистем Б. В. Виноградовым (см. [Виноградов 1993], [Виноградов 1997]). Выделяют следующие **классы эколого-геологического состояния** литосферы:

а) **класс удовлетворительного (благоприятного) состояния**, который коррелируется с зоной экологической нормы (Н) экосистемы по Б. В. Виноградову. Такая зона включает территории без заметного снижения продуктивности и устойчивости экосистемы, её относительной стабильности. Значения прямых критериев оценки эколого-геологического состояния литосферы ниже предельно допустимой концентрации (ПДК) или фоновых (за исключением природных аномалий);

б) **класс условно удовлетворительного, относительно неблагоприятного состояния**, который коррелируется с зоной экологического риска (Р). Эта зона включает территории с заметным снижением продуктивности и устойчивости экосистемы, её нестабильным состоянием, ведущим в дальнейшем к спонтанной деградации экосистемы, но ещё с обратимыми нарушениями. Территории требуют разумного хозяйственного использования, планирования и проведения мероприятий по их улучшению. Значения прямых критериев оценки эколого-геологического состояния литосферы ненамного (до 5 раз) превышают ПДК или фон (кроме природных аномалий);

в) **класс неудовлетворительного, весьма неблагоприятного состояния**, который коррелируется с зоной экологического кризиса (К). Эта зона включает территории с сильным снижением продуктивности и потерей устойчивости экосистемы, её труднообратимыми нарушениями. Необходимо выборочное хозяйственное использование территорий, планирование и оперативное проведение глубокого улучшения. Значения прямых критериев оценки эколого-геологического состояния литосферы в 5–10 раз превышают ПДК и фон;

г) **класс катастрофического состояния**, который коррелирует с зоной экологического бедствия (Б). В эту зону входят территории с полной потерей продуктивности, практически необратимыми нарушениями экосистемы, исключающими территорию из хозяйственного использования. Значения прямых критериев оценки эколого-геологического состояния литосферы в десятки раз превышают ПДК и фон.

Критериями выделения классов эколого-геологического состояния литосферы и связанных с ними зон экологического состояния экосистем служит ряд *показателей*, которые, как было показано ранее, разделяются на *тематические, пространственные и динамические* (рис. 2). *Тематические* – являются по своей сути индикаторными (индикационными) и относятся к биотическим критериям, позволяющим на основе ботанических, зоологических, социально-санитарных индикаторных критериев оценивать состояние биоты и экосистемы в целом. Выбор их зависит от конкретных ландшафтно-климатических и геологических условий территории и степени антропогенного влияния. Эти оценки дополняются анализом *пространственных и динамических* критериев, учитывающих площадь поражения и скорости нарастания негативных явлений через прямые характеристики (проценты площади, проценты в год и т. д.). Оценка состояния литосферы проводится на основе ресурсных, геодинамических, геохимических и геофизических показателей. Ресурсные показатели дают представление о вещественно-энергетическом состоянии; геохимические и геофизические – о загрязнении и развитии геопатогенных аномалий; геодинамические – о развитии деструктивных геологических процессов природного и антропогенного происхождения.

Выделение зон и классов экологического состояния литосферы и экосистемы осуществляется на основе небольшого числа наиболее

представительных показателей, но обязательно с использованием и взаимным учётом тематических, пространственных и динамических критериев оценки. К сожалению, единого интегрального показателя состояния литосферы и экосистемы не существует, однако число наиболее представительных показателей обычно сводится к разумному минимуму.

Таким образом, на любых эколого-геологических картах, по мнению В. Т. Трофимова и Д. Г. Зилинга, должны найти отражение *два блока информации: о состоянии эколого-геологических условий литосферы и её компонентов и о состоянии экосистемы, комфортности и безопасности проживания человека* [Трофимов, Зилинг 2001]. Эти положения послужили основой предложенной данными исследователями и рассматриваемой ниже систематики эколого-геологических карт.

Эколого-геологические карты могут быть *оценочные* (фиксистские) и *оценочно-прогнозные*. *Первый* тип карт отражает современное эколого-геологическое состояние литосферы или её компонентов, которое соответствует адекватному состоянию биоты или экосистемы в целом. *Второй* тип даёт прогнозные оценки эколого-геологического состояния литосферы или её компонентов, которым будет соответствовать предполагаемое состояние биоты или экосистемы в целом. Прогнозные оценки носят временной характер и разрабатываются на базе учёта планируемых видов антропогенного воздействия или развития природных процессов.

Карты обоих типов (оценочные и оценочно-прогнозные) могут быть: а) *синтетическими* (комплексными, интегральными) – составляются с учётом оценки всех экологических свойств литосферы; б) *частными* (аналитическими) – составляются по отдельным структурным элементам или одной из экологических функций литосферы. Это карты по эколого-геологической оценке отдельного геологического процесса (например, оползневого), отдельного геофизического поля (магнитного, теплового и т. д.), конкретного загрязнителя литосферы (токсичного элемента) или их группы (тяжёлые металлы, органические соединения и т. д.) (рис. 3). К *синтетическим* относят карты ландшафтно-индикационные, стратиграфо-генетических комплексов, литогеохимические, радиогеохимические, защищённости подземных вод от загрязнения, гидрогеодинамические, геокриологические и др. К *аналитическим* – карты концентраций

отдельных элементов в почвах и подземных водах, нефтяного загрязнения, гамма-поля, распределения содержаний урана, поражённости территории отдельными ЭГП, просадочности грунтов, водопроницаемости основных водоносных горизонтов, техногенных объектов и др.

Оценка эколого-геологических условий литосферы отображается на эколого-геологических картах всех типов фоновой цветовой закрашкой по принципу светофора: красным – неблагоприятные в экологическом отношении территории, зелёным – благоприятные, а жёлтым – умеренно благоприятные. Выбор способов отображения на карте интегральной оценки состояния эколого-геологических условий литосферы может проводиться на основе «суммирования» оценок различных эколого-геологических свойств отдельных компонентов литосферы разными способами.

Эколого-геологические карты *по своему содержанию* объединяются в четыре группы (рис. 3). Первая группа – это *карты эколого-геологических условий*. Они отражают комплекс параметров или отдельные характеристики литосферы, которые характеризуют возможность воздействия компонентов литосферы на биоту. Это может быть, например, загрязнённость литосферы токсикантами, поражённость геологическими процессами, неоднородность геофизических полей, недостаток для живого различных ресурсов. Синтетические карты эколого-геологических условий отображают всю совокупность необходимых параметров современной эколого-геологической ситуации. Аналитические карты этого типа несут пространственную информацию лишь об одной, как правило, характерной и важной для решения поставленной задачи черте этой обстановки. На аналитических картах могут отображаться особенности эколого-геологических условий, обусловленные проявлением только ресурсной или только геохимической экологической функции литосферы или даже отдельными их компонентами.

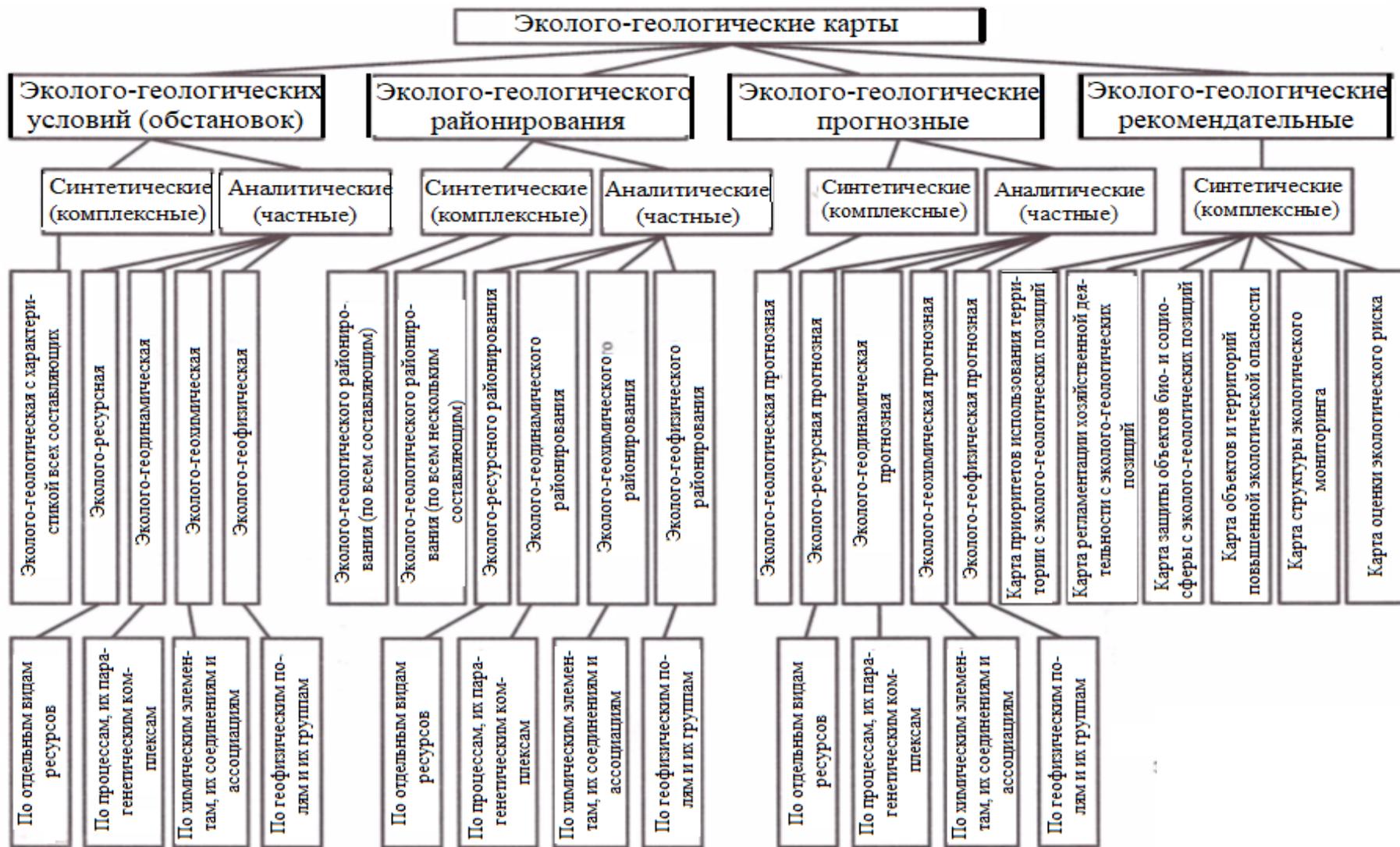


Рис. 3. Классификация эколого-геологических карт по содержанию [Трофимов, Зилинг 2002]

Вторая группа – *карты эколого-геологического районирования*, на которых в тех или иных категориях даётся оценка современного состояния эколого-геологических условий, как правило, способом ранжирования их на классы состояний. Этот тип карт является базовым для прогнозных оценок и природоохранных рекомендаций. На основе имеющейся эколого-геологической информации на этих картах даётся её 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 её компонентах и информация об экосистемах и их биотической составляющей. Принципиальное отличие этой информации состоит 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 ним зон экологического состояния экосистем. Пространственное обособление территорий с определённым классом экологического состояния и является сущностью таких карт. Карты эколого-геологического районирования по содержанию могут быть синтетическими и аналитическими.

Третья группа – *карты эколого-геологические прогнозные*. Они отображают пространственно-временной прогноз изменения эколого-геологических условий в ходе естественной динамики природной среды, а главное – в процессе хозяйственного освоения территории и функционирования природно-технических систем. На картах этого типа может быть отражён как комплексный (по всей совокупности параметров, условий и вероятностных природных и техногенных воздействий), так и частный (изменения какого-либо одного фактора под воздействием определённого вида) прогноз изменения эколого-геологических условий. Первому случаю отвечает синтетическая, второму – аналитическая эколого-геологическая прогнозная карта.

Четвёртая группа – это *карты эколого-геологические рекомендательные*, что базируются на эколого-геологической и социально-экономической информации. Они являются основой для рекомендаций по

широкому кругу вопросов – от рекомендаций по рациональному с экологических и геологических позиций использованию территорий до регламентации хозяйственной деятельности и защиты объектов био- и социосферы. Карты этого типа составляются обычно как синтетические. Отнесение данного типа карт к категории эколого-геологических носит дискуссионный характер. Скорее всего, они составляют особый класс тематических карт, которые помогают в выработке и принятии управляющих решений. Однако характер информации, которую несут эти карты, позволяет рассматривать их в качестве «финального» блока карт эколого-геологического содержания.

Эколого-геологические карты *по практическому назначению* также подразделяются на *общие и специальные*. *Общие* эколого-геологические карты представляют собой карты многоцелевого назначения, поскольку характеристику параметров эколого-геологических условий на них осуществляют без учёта конкретного типа живого, по отношению к которому оценивается их влияние, и без учёта конкретного (узкоцелевого) использования карт. На *специальных* картах, в отличие от общих, демонстрируют только эколого-геологическую информацию, необходимую для решения определённой задачи, например оценку влияния природной радиоактивности горных пород на человека.

Таким же образом показывается необходимая информация на картах эколого-геологического районирования и прогнозных. На общих по назначению их разностях отображаются региональные или чаще типологически однородные по совокупности эколого-геологических условий таксономические единицы, однородность которых определяется, как правило, в соответствии с наиболее распространёнными классификациями или личными построениями автора. На картах *специальных*, в отличие от общих, однородность условий выделяемых таксонов определяется классификацией, в наибольшей степени приближённой к решению поставленной задачи, и обычно формулируется техническим заданием.

Прогноз изменения эколого-геологических условий, происходящий под влиянием наиболее типичных природных и техногенных

факторов, отображается на *общих* по назначению картах. На *специальных* эколого-геологических прогнозных картах показываются вероятные изменения тех же условий под влиянием определённого типа и интенсивности.

Эколого-геологические карты также подразделяются по своему *масштабу*. По этому признаку выделяются карты *обзорные* (масштаб мельче 1:1 000 000–1: 500 000), *среднемасштабные* (1:200 000–1:50 000) и *крупномасштабные* (1:25 000 и крупнее).

Выделяют два типа эколого-геологических карт также по *характеру обновляемого материала*: *карты с фиксированным содержанием информации* и *карты с перманентно дополняемой (пополняемой) информацией*.

Некоторые методические положения

по составлению эколого-геологических карт

(по материалам В. Т. Трофимова, Д. Г. Зилинга, М. А. Харькиной и др. [Эколого-геологические карты 2007], [Трофимов, Зилинг, Красилова 1998])

Составление эколого-геологических карт осуществляется в соответствии с определённой очередностью работ и целенаправленным сбором информации по обширному кругу вопросов.

Первый этап работ предусматривает *сбор аналитической информации по трём блокам фактологических карт* (рис. 4). *Первый блок* представляют карты, на которых отражается современное состояние литосферы и её компонентов с информацией по всем развитым на территории геофизико-геохимическим полям и аномалиям, природным и антропогенным геологическим процессам с учётом пространственной поражённости, интенсивности и динамики их развития. Для составления этих карт используют инженерно-геологические карты, карты экзогеодинамических обстановок и активности современных экзогенных геологических процессов, геохимические и геофизические карты и т. п. На основе этих данных составляется карта современного состояния верхних горизонтов земной коры.

Второй блок представляют карты участков с различной функциональной организацией территории, а также источников техногенной нагрузки.

Третий блок карт содержит информацию об экосистеме в целом и её биотических компонентах, которые включают сведения об изменении животного мира, заболеваемости населения, снижении урожайности, а также о типах застройки и гибели людей от проявления катастрофических геологических процессов. Вся перечисленная выше информация может быть представлена либо в табличной форме, либо в виде поэлементных карт.

Второй этап работ предполагает составление карты *эколого-геологических условий*, на которой предусматривается отражение всей информации по состоянию литосферы и экосистемы в целом. Следует отметить, что информация на этой карте не ранжируется на классы состояния эколого-геологических условий. В этом заключается специфика этой карты.

Третий этап работы сводится к составлению карты *эколого-геологического районирования* территории, на которой даётся оценка всей систематизированной на карте информации с ранжированием её на классы состояния и привязкой к соответствующим таксонам районирования. При процедуре районирования главным и обязательным требованием является выбор такого признака выделения каждого таксона районирования, который позволял бы устанавливать однородные по состоянию эколого-геологических условий территории с близкими экологическими последствиями. Только на этом условии можно провести сравнение выделенных территориальных единиц с благоприятностью существования биоты и в первую очередь проживания человека и уровнем неблагоприятного изменения экосистемы в целом.

Четвёртый этап работ включает составление *прогнозных эколого-геологических* карт с информацией об изменении эколого-геологических условий, вызванных воздействием природных и техногенных факторов, обусловленных планируемым хозяйственным освоением или развитием территорий.

Пятый этап работ сводится к составлению одной или нескольких *рекомендательных* карт по ограничению или запрету хозяйственной деятельности, защите природных объектов, переносу жилья и инженерных сооружений и т. п., основанных на экологическом приоритете при разработке планов экономического развития.

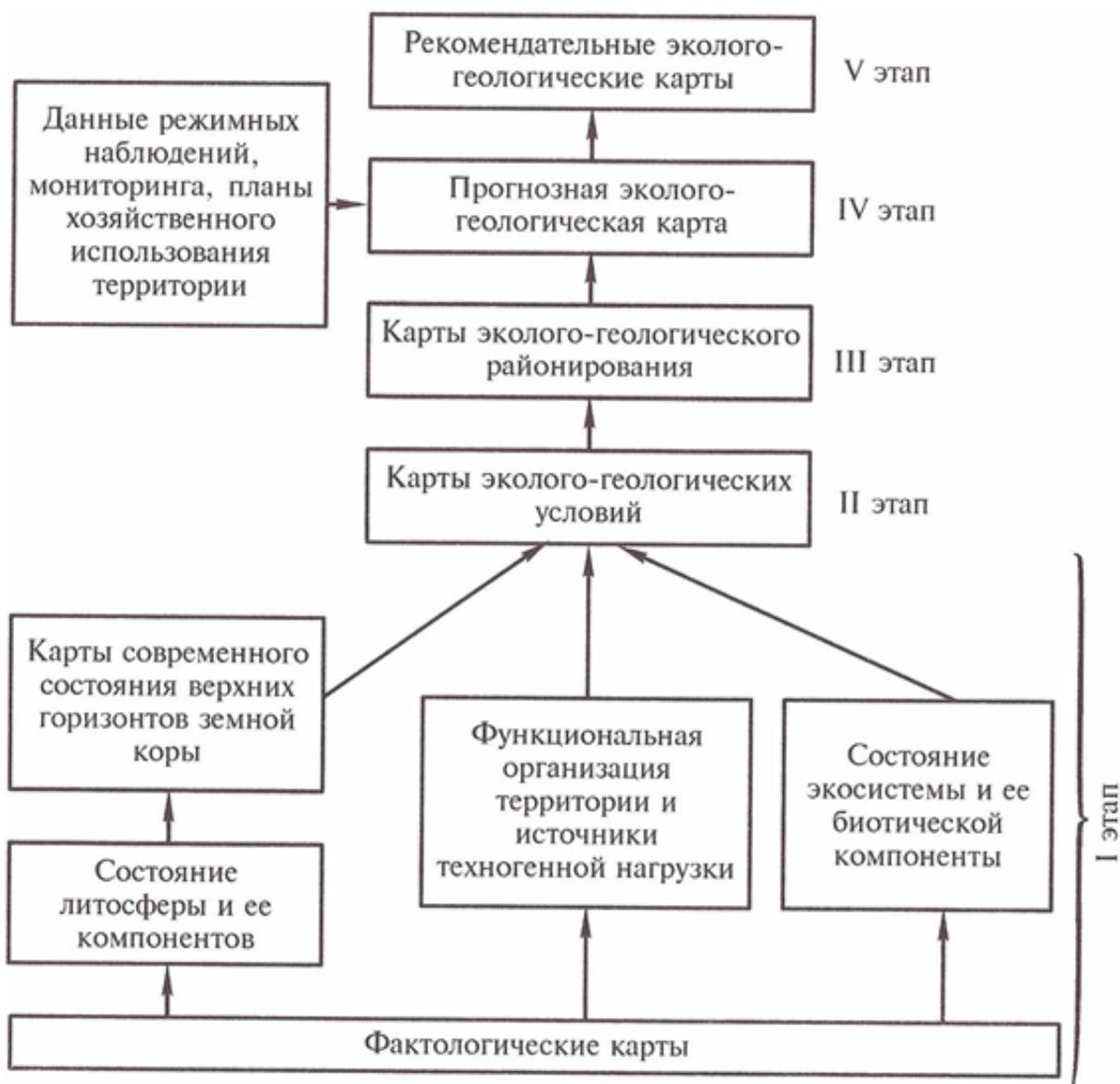


Рис. 4. Последовательность работ при составлении эколого-геологических карт

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ

Информация, необходимая для составления эколого-геологических карт

Сущностью эколого-геологических карт является отображение на них не только традиционной геологической информации, но и медико-биологической, свидетельствующей о воздействии абиотического компонента экосистемы на биоту, в том числе и человека. В этом заключается основа понимания содержания информационной базы для создания эколого-геологических карт и требований к ней. На первых этапах эколого-геологических исследований поэтому собирается и систематизируется информация прежде всего геологическая, а также медико-биологическая и социально-экономическая.

Геологическая информация содержит сведения о современном состоянии приповерхностной части литосферы и её компонентов в виде прямых и относительных, качественных и количественных характеристик (площадь поражения, скорость смещения, процент проективного покрытия, неоднородности геохимических и геофизических полей, потери ресурсов и т. д.).

Медико-биологическая информация содержит такие сведения, как рождаемость, смертность, здоровье населения, проявление патологии детей, различных заболеваний населения, демографических показателей, изменение видового состава, деградация растительности, падёж животных, санитарное состояние территории, уровень и динамика трансформации экосистемы и др. Эта информация представляется также в прямых и относительных, качественных и количественных показателях на картах медико-экологических или медико-биологических.

Социально-экономическая информация необходима для составления прогнозных эколого-геологических карт и содержит сведения о физическом и интеллектуальном состоянии общества, планах хозяйственного использования и развития территории, планируемой техногенной

нагрузке, уровне жизни населения и его медицинском обеспечении и образовании.

Исходные геологические и медико-биологические карты со всей размещённой на них информацией позволяют перейти к составлению собственно эколого-геологических карт: эколого-геологических условий, эколого-геологического районирования и эколого-геологической прогнозной, на которых отображается связь эколого-геологических особенностей литосферы и биоты.

Общие принципы выделения классов состояния эколого-геологических условий и связанных с ними зон нарушения экосистем

В основе взаимоувязанных оценок состояния эколого-геологических условий с зонами нарушений экосистем заложены принципиальные положения, вытекающие из представлений о том, что современное состояние этих экосистем обусловлено состоянием всех входящих в неё компонентов, в том числе литосферы.

Первый принцип сводится к необходимости принятия единой ранговой системы оценок для всех компонентов литосферы и экосистемы. Предложено выделять *четыре* таких ранга (удовлетворительное, условно удовлетворительное, неудовлетворительное, катастрофическое), каждый из которых обеспечен достаточно чёткими и объективными критериями оценки на *качественном* уровне для *биотических* составляющих и *количественными* критериями оценки для *абиотических* составляющих. При этом отмечается, что любая из этих оценок носит во многих случаях договорной, экспертный характер.

Геологическая основа эколого-геологических карт должна отражать, по мнению В. Т. Трофимова и Д. Г. Зилинга, те свойства литосферы, которые воздействуют на биоту через геологические процессы, а также геохимические и геофизические поля [Трофимов, Зилинг 2007]. Поэтому, считают они, для поставленных целей практически невозможно предложить единую геологическую основу эколого-геологических карт, которая бы соответствовала всему разнообразию экологических свойств

литосферы. Эту основу предлагается составлять отдельно для каждой экологической функции литосферы, а возможно, и для их отдельных элементов (геофизико-геохимических полей, геохимических аномалий, парагенетических групп геологических процессов). Оттого пока остаётся открытым вопрос возможности последующей интеграции геологической основы эколого-геологических карт. Предлагается интегральную оценку проводить не только на базе «балльного» подхода, являющегося преимущественно субъективным, но и посредством установления класса состояния по наиболее экологически неблагоприятному компоненту литосферы или её экологической функции. Для этого на основе матричной легенды эколого-геологической карты (рис. 5)

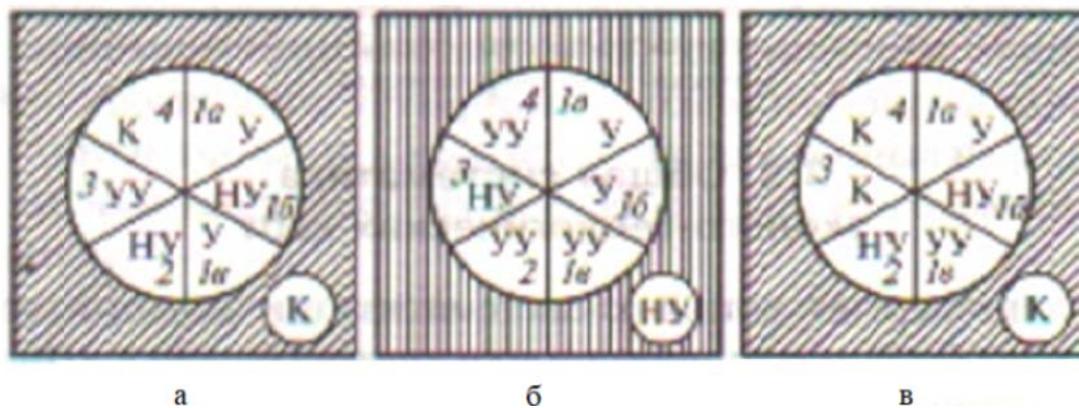


Рис. 5. Типовой вариант интегральной оценки состояния эколого-геологических условий литосферы

Примечание: а – интегральная оценка соответствует классу катастрофического состояния эколого-геологических условий и принимается по состоянию геофизических полей (4), состояние остальных компонентов литосферы более благоприятное и варьирует от класса удовлетворительного состояния (*Ia, Ib*) до класса неудовлетворительного состояния (*Iб, Z*); б – интегральная оценка соответствует классу неудовлетворительного состояния эколого-геологических условий и принимается по состоянию геохимической обстановки (3), состояние остальных компонентов литосферы варьирует от класса удовлетворительного (*Ia, Ib*) до класса условно удовлетворительного (*Ia, 2, 4*); в – интегральная оценка соответствует классу катастрофического состояния эколого-геологических условий и принимается по состоянию геохимико-геофизических полей (3, 4), состояние остальных компонентов литосферы более благоприятное и варьирует от класса удовлетворительного (*Ia*) до класса неудовлетворительного состояния эколого-геологических условий (*Iб, 2*).

В.Т. Трофимов предлагает выявлять максимально «неблагоприятное» экологическое свойство литосферы (через её экологические функции), которое и определяет класс состояния территории [Трофимов, Зилинг 2007]. Чтобы учесть всю гамму экологических свойств литосферы (состояний) составляют циклограмму, где выделяются сегменты по числу анализируемых свойств с ранжированием их по классам состояний. Примеры такой оценки приведены на рис. 5, на котором классы состояния и оценка экологических свойств территории даны в соответствии с рис. 6.

Классы состояния эколого-геологических условий	Экологическая функция литосферы					
	Ресурсная			Геодинамическая	Геохимическая	Геофизическая
	Минерально сырьевые ресурсы для биоты	Минерально сырьевые ресурсы для человеческого сообщества	Ресурсы геологического пространства			
Удовлетворительный	Ia	Iб	Iв	2	3	4
Условно удовлетворительный	Ia	Iб	Iв	2	3	4
Неудовлетворительный	Ia	Iб	Iв	2	3	4
Катастрофический	Ia	Iб	Iв	2	3	4

1
 2
 3
 4

Рис. 6. Оценка состояния эколого-геологических особенностей компонентов литосферы с учётом её экологических функций

Примечание: Классы состояния эколого-геологических условий: 1 – удовлетворительный, 2 – условно удовлетворительный, 3 – неудовлетворительный, 4 – катастрофический. Экологические функции (свойства) литосферы: 1 – ресурсная: а – ресурсы, необходимые для существования биоты; б – ресурсы, необходимые для существования человека; в – ресурсы геологического пространства; 2 – геодинамическая; 3 – геохимическая; 4 – геофизическая.

Представленный на рис. 5 тип циклограммы характеризует на карте каждый анализируемый контур (выделенный таксон

районирования), демонстрируя на практике принцип оценки территории по экологически «худшему» показателю. Оценка, предлагаемая В. Т. Трофимовым и Д. Г. Зилингом, характеризуется большей адресностью и более корректна по сравнению с оценкой балльной, потому что конкретно отвечает на вопрос о том, что и где нуждается в инженерной защите или природоохранных мероприятиях.

Второй принцип представляет собой сопоставление и корреляцию классов состояния эколого-геологических условий и зон экологического состояния биоты, которое должно осуществляться с привлечением наиболее информативных критериев оценки с обязательным использованием тематических, площадных и динамических показателей.

Третий принцип исходит из необходимости отдельного рассмотрения оценок для человека, растительного и животного мира, так как современное состояние приповерхностной части литосферы, коррелируемое с зонами экологического состояния биоты, в зависимости от характера развития геологических процессов, от особенностей геохимических и геофизических неоднородностей, существенно различно по воздействию на человека, растительность и животный мир.

Четвёртый принцип требует использования медико-биологических критериев (медико-демографических, медико-статистических, биосубстратных и др.) для увязки зон нарушения экосистемы и классов состояния эколого-геологических условий с соответствующим привлечением для решения этой проблемы специалистов определённого профиля.

О признаках выделения на картах территориальных единиц разного содержания

Выделение территориальных единиц, однородных как по состоянию характеристик литосферы (интенсивности проявления геологических процессов, геохимических и геофизических аномалий и степени освоенности ресурсов геологического пространства) или их совокупности, так и по экологическим последствиям воздействия этих

факторов на всё живое, прежде всего людей, представляет собой главный принцип эколого-геологического картографирования.

В соответствии с этим принципом на *эколого-геодинамических* картах обособляются территориальные единицы, однородные как по интенсивности проявления природных и техногенных геологических процессов, так и по экологическим последствиям воздействия этих процессов на человека, живые организмы и растения.

Эколого-геохимические карты отличаются однородностью выделяемых территориальных единиц разного иерархического уровня по содержанию химических элементов и соединений в горных породах и почвах, уровню состояния фитоценозов и заболеваемости животных и человека.

Эколого-геофизические карты отражают геофизические поля, однородные как по структуре, так и по напряжённости, а также однородные по уровню их влияния и способности к адаптации живых организмов.

Эколого-ресурсные карты предусматривают однородность территориальных единиц по уровню обеспеченности участков литосферы минеральными ресурсами и их пригодности для проживания человека и существования биоты.

Устанавливается последовательность выделения территориальных единиц на геологической карте, используемой для составления эколого-геологических карт, по следующим признакам: структурно-тектоническим → морфологическим → геоморфологическим → литологическим → гидрогеологическим → почвенным. Особое значение при эколого-геологическом картографировании имеет тип функциональной организации хозяйственной деятельности, поскольку он во многом определяет плотность населения, характер жилой застройки, виды и источники техногенного воздействия на литосферу.

Территориальные единицы в ходе оценки неоднородностей геохимических полей также выделяют по ландшафтным признакам, которые позволяют определить миграцию элементов. Эти признаки при их использовании дают возможность одновременно учесть состав почв и

подстилающих горных пород, характер растительности, а также особенности водного баланса различных частей исследуемой территории.

Признаки территориальных единиц разного содержания и разного уровня при их выделении всегда рассматриваются составителем эколого-геологической карты с учётом описанных позиций, специфики эколого-геологических условий картируемой территории, а также исходя из типа и масштаба составляемой эколого-геологической карты.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой эколого-геологическая карта?
2. Основной картируемый показатель эколого-геологической карты.
3. Классы эколого-геологического состояния литосферы.
4. Типы эколого-геологических карт.
5. Четыре группы эколого-геологических карт, выделяемые по своему содержанию.
6. Основные этапы составления эколого-геологических карт.
7. Общие принципы создания эколого-геологических карт.
8. Типовой вариант интегральной оценки состояния эколого-геологических условий литосферы.
9. Оценка состояния эколого-геологических особенностей компонентов литосферы с учётом её экологических функций.

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ ЛЕГЕНД И ОТОБРАЖЕНИЮ НА ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТАХ НЕОБХОДИМОЙ ИНФОРМАЦИИ

Принципы построения легенд различных эколого-геологических карт (условий, районирования, прогнозных и рекомендательных) едины для всех перечисленных карт. Сами легенды насчитывают определённое количество информационных блоков. Передача информации

на карту осуществляется цветом, изолиниями, буквенно-цифровыми кодами и специальными знаками.

Легенда карты *эколого-геологических условий* содержит четыре раздела. *Первый* раздел включает информацию, связанную с *геологическим и геоморфологическим строением* района, в первую очередь о преобладающем типе пород, прежде всего в зоне аэрации, а также господствующем типе почв.

Второй раздел содержит фактологические данные о *различных компонентах эколого-геологических условий*. Для *частных* (аналитических) *эколого-геохимических карт* характерны данные о расположении *точек опробования* как абиотической (породы, почвы, снеговой покров, воды питьевого назначения), так и биотической компонент экосистемы (трава, лишайники, животные, человек), *характере загрязнения* и т. д. Информация о *загрязнении* даётся не только в абсолютных, но и в относительных значениях – по отношению к ПДК, фоновым или кларковым значениям или через соответствующие коэффициенты типа Z_c (суммарный показатель загрязнения, отражающий отношение содержания химических элементов в пробе по отношению к ПДК), БХА (коэффициент биологической активности вида, отражающий отношение содержания химических элементов в пробе по отношению к горной породе) и др. Данное обстоятельство отличает карту эколого-геохимических условий от традиционных геохимических карт.

Для *частных эколого-геодинамических карт* характерной является традиционная геологическая информация о проявлениях того или иного геологического процесса, площади его развития, объёмах и скорости перемещаемых пород или амплитудах деформации земной поверхности с акцентом на последствия проявления геологических процессов для территорий различного хозяйственного использования (перенос жилых домов, потери урожайности, земельного ресурса и т. п.). В дальнейшем полученная информация об экологических последствиях проявления геологических процессов даёт возможность перейти к оценке состояния экосистем.

Третий раздел легенды содержит сведения о функциональной организации территории и об объектах техногенной нагрузки.

Четвёртый раздел легенды включает так называемые прочие условные знаки. Например, цветом отображается геолого-ландшафтная основа с выделением геолого-структурных и геоморфологических единиц; буквенно-цифровые коды – фактологическую эколого-геологическую информацию в конкретных точках наблюдения, в том числе на ключевых участках; специальными знаками на карте указываются сведения о функциональной структуре территории и т. д.

Легенда карты *эколого-геологического районирования* состоит из четырёх разделов.

Первый раздел легенды определяет содержательную часть и само название карты и включает оценку эколого-геологических условий и экологических последствий проявления геологических процессов, а также геохимических и геофизических полей и аномалий для человека и экосистемы в целом. Раздел имеет вид *матрицы*, в *левой части* которой по вертикали даны четыре класса состояния эколого-геологических условий (удовлетворительное, условно удовлетворительное, неудовлетворительное, катастрофическое), а в *центральной части* по горизонтали указываются собственно критерии оценки геологических процессов, геохимических и геофизических аномалий. *Правая часть* матрицы содержит сведения об экологических последствиях отдельно для человека и экосистемы с выделением зон экологической нормы, риска, кризиса и бедствия. Все используемые в матрице критерии дают возможность определить состояние как абиотической, так и биотической компонент экосистем. Абиотические компоненты оцениваются с помощью традиционных геологических показателей состава, состояния и свойств пород, почв, подземных вод и газов. Биотические компоненты оцениваются биотическими, биолого-медицинскими и социально-экономическими критериями.

Второй раздел легенды содержит обоснования границ территориальных единиц районирования, включая тектонические, морфологические и геоморфологические с выделением структур различных

порядков, а также границы преобладающих типов почв и подстилающих пород. На картах *эколого-динамического районирования* выделение *тектонических структур* даёт возможность установить территории, отличающиеся по своей сейсмической активности. В свою очередь, выделение *морфологических единиц* позволяет отметить территории, которые разнятся набором природных экзогенных геологических процессов и явлений, а установление *геоморфологических структур* – наметить территории, характеризующиеся особенностями геологического разреза, а также характером почвенного покрова и интенсивностью проявления геологических процессов.

На картах *эколого-геохимического районирования* установление *тектонических структур* даёт возможность выделить территории, характеризующиеся повышенной природной радиоактивностью и повышенным содержанием токсикантов. Выделение *геоморфологических единиц* позволяет учитывать ландшафтно-геохимический фактор, устанавливающий особенности миграции элементов. Например, ландшафты высокогорий, средне- и низкогорий, предгорных равнин, которые характерны для горных областей, различаются между собой по составу почв, растительности и водному балансу.

На картах *эколого-геофизического районирования* выделение тектонических структур даёт возможность установить неоднородности природных геофизических полей, обусловленных глубинными разломами, а также зонами повышенной трещиноватости и др.

Третий раздел легенды включает описание функциональной организации с указанием различных типов хозяйственного использования территории: добывающего, селитебного, сельскохозяйственного, лесохозяйственного, природоохранного и проч.

Четвёртый раздел легенды содержит остальные обозначения на карте: типы границ; буквенные сокращения и буквенно-цифровые коды, характеризующие каждый контур на карте. Числитель такого таксона представляет собой буквенно-цифровое обозначение для данного территориального таксона с учётом функциональной организации территории, а знаменатель – интегральную оценку состояния

экосистемы (норма, риск, кризис, бедствие) через последствия проявления основных геологических процессов и геологических аномалий.

Информация на карте эколого-геологического районирования, систематизированная в легенде в виде четырёх разделов, отображается следующим образом. Классы состояния эколого-геологических условий литосферы на карте выделяются цветовым фоновым изображением. Зелёным цветом обозначаются участки с удовлетворительным; жёлтым – с условно удовлетворительным; оранжевым – с неудовлетворительным и розовым – с катастрофическим классами состояния литосферы. Штриховкой отмечаются территориальные единицы районирования, а крапом – функциональной организации. Описанный тип легенды характерен для синтетических и аналитических карт всех представленных типов районирования.

Выделенные на карте на основании равенства ресурсного потенциала геологического пространства территориальные типологические единицы отображаются с помощью ресурсного кода и состоят из четырёх частей (рис. 7).

В (I) части кода показана пригодность территорий для расселения биоты и человека как биологического вида [а]; естественного гармонического расселения флоры и фауны, характерной для данной территории [б]; создания заповедных зон [в].

Во (II) части – для разных видов сельско- и лесохозяйственного освоения, характерного для данной местности аграрного освоения [г]; животноводства [д]; лесохозяйства [е].

В (III) части кода представлены показатели инженерно-геологической освоенности территории под различные виды инженерных сооружений [ж]; сложные и уникальные промышленные и энергетические объекты [з]; линейное строительство [и]; могильники высокотоксичных и радиоактивных отходов [к].

В (IV) части плюсами или минусами демонстрируются возможности (или невозможность) названного в третьей части вида инженерного освоения исходя из его предполагаемого экологического воздействия на окружающую среду, а также учитывая экологическую благо-

приятность / неблагоприятность данной территории для проживания или временного присутствия людей.

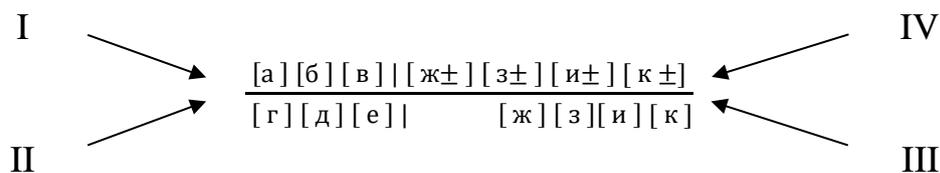


Рис. 7. Ресурсный код на карте эколого-ресурсного районирования

Пригодность территории под каждый из возможных видов её освоения (природного или хозяйственного) оценивают *качеством* ресурса геологического пространства. Территориальные ресурсы по качеству подразделяют следующим образом: 0 – низкое; 1 – пониженное; 2 – среднее; 3 – высокое. Данное подразделение для экологической составляющей ресурсного кода (I и II части кода) совпадает с традиционной схемой: категории экологической нормы соответствуют высокому качеству территориального ресурса (3 балла), экологического риска – среднему (повышенному) качеству (2 балла), экологического кризиса – пониженному (1 балл), экологического бедствия – низкому качеству территориального ресурса (0 баллов). Подобная индивидуальная оценка качества ресурса геологического пространства (для определённого вида освоения) обуславливается региональными и зональными природными, а также инженерно-геологическими факторами, общим территориальным «фондом» (запасом) государства или любой другой административной единицы; спецификой отдельных видов хозяйственного освоения территории, действующими нормативными документами (как экологической и медико-санитарной направленности, так и строительными нормами и правилами).

Установленные на карте эколого-геологического районирования определённые объёмы геологического пространства с различными ресурсными кодами могут в случае стандартного решения выделяться теми или иными цветовыми закрасками в виде разнообразных штриховок. Цветом обозначают, например, рекомендуемый вид исполь-

зования рассматриваемой территории, а при многообразии таких рекомендаций предлагается применение окраски типа «матрас» (чересполосица).

Легенда *прогнозной эколого-геологической карты* также состоит из четырёх разделов.

Первый раздел содержит систематизированные данные прогноза изменения состояния эколого-геологических условий, соотнесённые с состоянием экосистем при определённых природных или техногенных воздействиях, на принятый временной интервал. Здесь представлена информация об изменении состояния эколого-геологических условий (переход из одного класса в другой) под влиянием техногенных или природных воздействий в сторону как улучшения, так и ухудшения ситуации. В этом разделе в табличной форме приводятся вероятные экологические последствия проявления прогнозируемых геологических процессов, а также геохимических и геофизических полей, изменений качества ресурса геологического пространства для человека, живых организмов и растительности. Здесь же показаны условные обозначения для участков верхней оболочки Земли, на которых с течением времени не будут происходить изменения эколого-геологических условий.

Второй раздел легенды этой карты содержит характеристики критериев оценки классов состояния эколого-геологических условий и отвечающих им зон нарушения экосистем. Этому разделу соответствует матрица, в которой в левой части по вертикали представлены четыре класса эколого-геологических условий (удовлетворительный, условно удовлетворительный, неудовлетворительный, катастрофический); в центральной части по горизонтали – абиотические и биотические критерии оценки ресурсов литосферы, геологических процессов, геохимических и геофизических полей и аномалий; в правой – даётся название зон нарушения экосистем (норма, риск, кризис, бедствие).

Третий раздел легенды включает обоснования территориальных единиц районирования, в том числе тектонических, геоморфологических, литологических и почвенных.

Четвёртый раздел легенды содержит описания прочих обозначений, включая функциональную организацию территорий (современную и прогнозную), геологических границ и буквенно-цифровых кодов.

Информация об основных оценочных параметрах в настоящем и будущем даётся в виде буквенно-цифровых кодов. Коды представляют собой дробь, в числителе которой даны сведения о территориальной единице районирования с учётом функциональной организации территории (либо постоянной, либо меняющейся в рассматриваемый интервал времени), а в знаменателе – современная и будущая оценки состояния экосистем (норма, риск, кризис и бедствие) при проявлении геологических процессов, геохимических и геофизических аномалий. Смена состояния экосистем обозначается горизонтальной стрелкой. Например, состояние экосистемы из нормы переходит в кризисное под воздействием процессов эрозии и обозначается как $HЭ \rightarrow KЭ$.

Таким образом, информация на прогнозной эколого-геологической карте может быть систематизирована в легенде в виде четырёх блоков и представлена следующим образом: *цветом* отображаются различные классы состояния эколого-геологических условий; разно ориентированной вертикальной цветной *штриховкой* – прогноз их изменения во времени (вертикальная штриховка отвечает улучшению состояния эколого-геологических условий, горизонтальная – ухудшению); цвет штриховки соответствует прогнозируемому классу их состояния: зелёный – удовлетворительному, жёлтый – условно удовлетворительному, оранжевый – неудовлетворительному, розовый – катастрофическому. Сгущение цветных линий отвечает резкому ухудшению или улучшению на два класса эколого-геологических условий. Участки, которые не затронуты изменениями в течение прогнозируемого интервала времени, окрашиваются равномерно определённым цветом (зелёным, жёлтым, оранжевым, розовым).

Карты эколого-геологические рекомендательные составляют особый тип природоохранных карт и не относятся к эколого-геологическим картам. Они создаются как геологическое обоснование для принятия управляющих решений и завершают цикл комплексных

эколого-геологических и социально экономических исследований. Однако эколого-геологическая информация и обязательность экологизированного подхода при оценках рационального использования той или иной территории, которая используется при их составлении, позволяет рассматривать их в ряду эколого-геологических карт.

На рекомендательных картах представляют рекомендации по очень широкому кругу вопросов – от рационального использования с эколого-геологических позиций отдельных территорий до регламентации хозяйственной деятельности, а также защиты объектов био- и социосферы (рис. 8). Они могут быть синтетическими и аналитическими. На основе *синтетических* карт возможны рекомендации для целостного (комплексного) решения некоторых возникших задач экологического характера и выполнения связанных с ними природоохранных мероприятий. *Аналитические* карты позволяют выполнить геологически обосновывающее решение конкретной (частной) экологической задачи.

Карты приоритетов использования территорий определяют с экологических либо эколого-экономических позиций, учитывая при этом эколого-геологическую ситуацию и опираясь на оценку ресурса и качества геологического пространства, основанную на анализе особенностей проявления всех экологических функций литосферы, возможность и целесообразность дальнейшего развития данной территории. Каждый типологический таксон районирования должен иметь буквенно-цифровой индекс, указывающий на параметры среды, влияющие на качество ресурса геологического пространства и возможности его дальнейшего использования с учётом временного фактора (годы, десятки, сотни лет). Эти карты не только отражают современную ситуацию в конкретном районе, но и несут элементы прогноза его развития в будущем.

Карты регламентации хозяйственной деятельности дают возможность ограничения техногенного воздействия или его отдельного вида на геологическую среду и экосистему в целом, указывая конкретный район этого воздействия и его причину. Это чисто запретительные

или ограничительные по своей сущности карты, направленные на улучшение или стабилизацию экологической обстановки в конкретном районе. Такие карты могут быть как *синтетическими*, учитывая интегральный характер воздействия, так и *аналитическими*, отвечающими на вопрос, от какого вида воздействия и на какой компонент среды направлены предлагаемые ограничения.

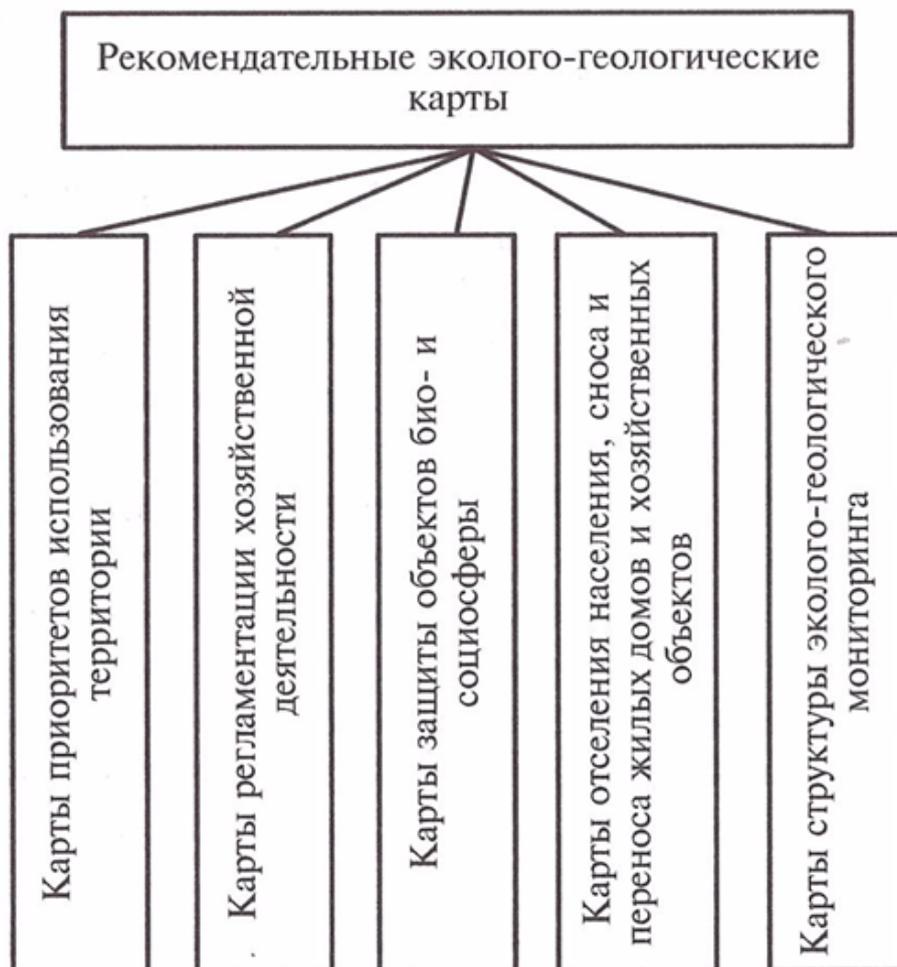


Рис. 8. Структура рекомендательных эколого-геологических карт
[Трофимов, Зилинг 2007]

Карты защиты объектов био- и социосферы определяют вид объекта и характер воздействия на этот объект, от которого его надо защищать. Чаще всего это карты аналитические, указывающие на источник техногенного воздействия и объект, требующий защиты

от него, и содержащие информацию относительно разработки мер инженерной защиты.

Карты отселения или очередности отселения населения, сноса и переноса жилых домов и инженерных сооружений разной функциональной ориентации направлены на выработку рекомендаций об очередности отселения населения, о сносе и переносе различных объектов по эколого-геологическим причинам. Особенностью этих карт является не только способность решать обозначенные целевые задачи, но и возможность с их помощью разработать меры инженерной защиты и минимизации расходов на отселение населения и перенос сооружений за счёт уменьшения экологического риска. Эти карты могут также содержать информацию для обоснования необходимости и целесообразности разработки инженерных мероприятий.

Карты структуры эколого-геологического мониторинга дают возможность обеспечения выбора мест заложения режимной сети по всем компонентам литосферы в соответствии с оценкой современного состояния эколого-геологической системы и несут, таким образом, информацию, которая необходима для оценки характера изменений и их временного интервала. Они представлены синтетическими картами, отражающими эколого-геологическую ситуацию по всем компонентам литосферы и факторам, их формирующим.

Контрольные вопросы

1. Характеристика легенды карты эколого-геологических условий.
2. Характеристика ресурсного кода на карте эколого-ресурсного районирования.
3. Характеристика легенды прогнозной эколого-геологической карты.
4. Характеристика рекомендательных эколого-геологических карт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определенный прогресс в области систематизации данных о разработках к настоящему времени достигнут в вопросах теоретического обоснования содержания и методики выполнения эколого-картировочных работ – совершенного нового направления в геологии, появление которого обусловлено серьезным экологическим состоянием окружающей среды, вызванным прежде всего техногенным воздействием.

Особого внимания заслуживает в этом плане вопрос разработки методики составления эколого-геологических карт – основного документа эколого-картировочных работ. Хотя, как отмечают разработчики этого направления, многие позиции имеют здесь дискуссионный характер, а в разработке ряда типов и видов эколого-геологических карт сделаны лишь самые первые шаги [Трофимов, Зилинг, Харькина и др. 2007], подобное состояние на данном этапе представляется вполне естественным, так как вопросы эколого-геологического картографирования находятся на первом этапе своего становления.

Тесты для контроля самостоятельной работы студентов

1. Объектом исследования в экологической геологии является:

а) приповерхностная часть земной коры, расположенная преимущественно в зоне возможного природного и техногенного воздействия;

б) состав, структура, закономерности функционирования и эволюции естественных и антропогенно изменённых экосистем высокого уровня организации.

2. Экологическая геология является:

а) составной частью геоэкологии;

б) самостоятельным направлением в геологии в целом.

3. Основные компоненты геологической среды:

а) почвы, породы зоны аэрации, подземные воды, коренные породы;

б) почвы, породы зоны аэрации, подземные воды, месторождения полезных ископаемых;

в) почвы, породы зоны аэрации, подземные воды; природные и техногенные газы; донные осадки.

4. Основные свойства геологической среды:

а) многокомпонентность, инерционность, способность к самоочищению;

б) многокомпонентность, инерционность, различная степень естественной защищённости;

в) многокомпонентность, инерционность, природная геологическая ценность, природная защищённость от геофизических факторов;

г) многокомпонентность, инерционность, природная геологическая ценность, различная степень естественной защищённости, способность к самоочищению.

5. Многокомпонентность среды обуславливается различным сочетанием:

а) почв, горных пород, коренных пород, подземных вод;

б) почв, коренных пород, подземных вод, наличием свободных и растворённых газов;

в) почв, горных пород, подземных вод, наличием свободных и растворённых газов и бактерий и микроорганизмов.

6. Инерционность геосреды определяется:

а) скоростью теплообмена и его видом;

б) скоростью теплообмена и его интенсивностью.

7. Способность геосреды к самоочищению применительно к определённым типам загрязнителей характеризуется:

а) геоэкологическим потенциалом;

б) геологической напряженностью среды.

8. Экологические функции литосферы включают всё многообразие функций, определяющих и отражающих роль и значение литосферы, включая:

а) подземные воды, коренные породы, углеводороды;

б) подземные воды, нефть, газы, геохимические и геофизические поля, протекающие в литосфере геологические процессы.

9. Ресурсная функция определяет:

а) роль минерально-сырьевых ресурсов литосферы;

б) объём геологического пространства, необходимого для жизнеобеспечения биоты;

в) роль минерально-сырьевых ресурсов литосферы и объём геологического пространства, необходимых для жизнеобеспечения биоты.

10. Геодинамическая функция оценивается:

- а) способностью литосферы к проявлению и развитию природных геологических процессов;
- б) способностью литосферы к проявлению техногенных геологических процессов и явлений;
- в) способностью литосферы к проявлению как природных, так и техногенных геологических процессов и явлений.

11. Геофизико-геохимическая функция – это свойство:

- а) геофизических и геохимических полей природного происхождения влиять на состояние биоты;
- б) геофизических и геохимических полей техногенного происхождения влиять на состояние биоты;
- в) геофизических и геохимических полей природного и техногенного происхождения влиять на состояние биоты.

12. Эколого-геологические условия – это совокупность:

- а) ресурсных и геодинамических функций литосферы;
- б) ресурсных и геофизико-геохимических функций литосферы;
- в) всех экологических функций литосферы.

13. Состояние эколого-геологических условий – это временное состояние обстановки территории, оцениваемое спецификой:

- а) только одного из совокупности экологических свойств;
- б) одного или нескольких из совокупности экологических свойств.

14. Эколого-геологические картографические исследования (ЭГИК) являются разделом:

- а) геоэкологии;
- б) экологической геологии.

15. Основная задача ЭГИК – это получение информации об экологическом состоянии:

- а) геологической среды;
- б) отдельных компонентов геологической среды;
- в) геологической среды и её отдельных компонентов.

16. Целью ЭГИК на первом этапе их проведения является:

- а) определение геохимического фона и оценки его отличий от глобальных геохимических параметров;
- б) выявление признаков рудо- или антропогенных процессов в регионе или отдельных его частях.

17. Два типа природной среды высшего таксономического ранга:

- а) морская и платформенная;
- б) океаническая и наземная;
- в) морская и горная.

18. По особенностям геологического строения выделяются:

- а) щиты и горные системы;
- б) платформы и орогены;
- в) сине- и антиклизы.

19. Использование материалов аэро- и космических съёмок при ЭГИК определяется:

- а) геологическими особенностями территории работ;
- б) масштабом работ.

20. Отбор проб из донных отложений осуществляется на глубину:

- а) 10–20 см;
- б) 20–40 см;
- в) 50 см.

21. Масса биогеохимической пробы составляет:

- а) 10–20 г сырого вещества;
- б) 20–50 г сырого вещества;
- в) 100 г сырого вещества.

22. В настоящее время для определения состояния экосистем принята оценочная структура (по Б. В. Виноградову), включающая:

- а) три ранга;
- б) четыре ранга;
- в) пять рангов.

23. Эколого-геологические карты по своему содержанию объединяются в:

- а) три группы;
- б) четыре группы;
- в) пять групп.

24. Экологические карты составляются в варианте:

- а) двулистном;
- б) трёхлистном.

25. Интегральный критерий оценки экологического состояния геологической среды оценивается по:

- а) максимальным значениям частных показателей;
- б) средним значениям частных показателей.

ЛИТЕРАТУРА

Балабанов Ю. П. Учебное пособие по курсу «Эколого-геологические исследования и картографирование» / Ю. П. Балабанов. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2007. – 45 с.

Виноградов Б. В. Биотические критерии выделения зон экологического бедствия России / Б. В. Виноградов, В. А. Орлов, В. В. Снакин // Изв. РАН. – 1993. – № 5. – С. 77–79.

Виноградов Б. В. Критерии оценки современного состояния экосистем / Б. В. Виноградов, Д. Г. Зилинг // Теория и методология экологической геологии. – М.: МГУ, 1997. – С. 323–332.

Методические рекомендации по эколого-геологическим исследованиям и картографированию масштаба 1:200 000 – 1:100 000 / сост.: Л. А. Островский, В. Н. Островский, М. С. Голицын и др. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1995. – 166 с.

Сычев К. И. Научное содержание и основные направления геоэкологии / К. И. Сычев // Разведка и охрана недр. – 1991. – № 11. – С. 2–6.

Требования к геолого-экологическим исследованиям и картографированию: в 3 вып. / сост.: М. С. Голицын, В. Н. Островский, Л. А. Островский. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1990. – Вып. 1: Масштаб 1:1 000 000 – 1:500 000. – 41 с.; Вып. 2: Масштаб 1:200 000 – 1:100 000. – 86 с.; Вып. 3: Масштаб 1:50 000 – 1:25 000. – 127 с.

Трофимов В. Т. Изменение экологических функций литосферы под влиянием энергетических комплексов / В. Т. Трофимов, Т. А. Барбошкина, А. Д. Жигалин и др. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. – 2006. – № 1. – С. 49–57.

Трофимов В. Т. Концептуальные основы эколого-геологического картографирования / В. Т. Трофимов, Д. Г. Зилинг, Н. С. Красилова // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. – 1998. – № 5. – С. 61–70.

Трофимов В. Т. Систематика эколого-геологических карт / В. Т. Трофимов, Д. Г. Зилинг // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2001. – № 1. – С. 66–73.

Трофимов В. Т. Экологическая геология / В. Т. Трофимов, Д. Г. Зилинг. – М.: Геоинформмарк, 2002. – 415 с.

Трофимов В. Т. Эколого-геологические карты – геологические карты нового класса / В. Т. Трофимов, Д. Г. Зилинг // Разведка и охрана недр. – 1998. – № 6. – С. 14–17.

Чижов А. Б. К методике геоэкологического картирования / А. Б. Чижов, А. В. Гаврилов, Е. И. Пижанкова // Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 1995. – № 5. – С. 88–95.

Эколого-геологические карты. Теоретические основы и методика составления: учеб. пос. / В. Т. Трофимов, Д. Г. Зилинг, М. А. Харькина и др.; под ред. В. Т. Трофимова. – М.: Высш. шк., 2007. – 407 с.

Учебное издание

Балабанов Юрий Павлович
Логинова Юлия Михайловна

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ПО КУРСУ
«ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ»

Редактор
С. А. Липовая

Подписано к использованию 12.09.2024.
Гарнитура Times New Roman.
Казанский федеральный университет
Научная библиотека им. Н. И. Лобачевского