

В.А.Королев

**МОНИТОРИНГ
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ
СРЕДЫ**

Под редакцией В.Т.Трофимова

Рекомендовано Государственным комитетом Российской Федерации по высшему образованию в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Геология"

Издательство Московского университета

1995

ББК 26.3
К66
УДК 624.131:551.3

Федеральная программа книгоиздания России

Рецензенты:

кафедра инженерной геологии
Московской геолого-разведочной академии
(зав. кафедрой профессор Е.М. Пашкин);
доктор геолого-минералогических наук,
профессор Р.С. Зиангиров

К66 Королев В.А.
МОНИТОРИНГ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ: Учебник
/ Под редакцией В.Т. Трофимова. — М.: Изд-во МГУ, 1995. —
272 с.
ISBN 5-211-03344-2

В учебнике рассматриваются современные проблемы организации и функционирования мониторинга геологической среды на трех иерархических уровнях: детальном, локальном и региональном. Анализируются его назначение и структура, методика и особенности организации при различных видах хозяйственного освоения территорий, приводится методика составления целевой комплексной программы мониторинга геологической среды. Излагаются основные методы контроля за состоянием геологической среды, оценки и прогноза изменений при техногенной нагрузке.

Для студентов геологических специальностей вузов, в том числе обучающихся по специальностям инженерной геологии, гидрогеологии, геокриологии, а также специалистов, работающих в области геоэкологии, экологической геологии, охраны геологической среды и рационального природопользования.

Annotation

Prof. V.A. Korolev. THE MONITORING OF GEOLOGICAL ENVIRONMENT / By edition Prof. V.T. Trofimov — Moscow: Moscow University Press, 1995. — 272 p.

The contemporary problems of organisation and function of the monitoring of geological environment on three levels (detaility, locality and regional) are considering. The purpose and monitoring structure, methodic and organisation peculiarity under the different types of national economy are analysing, the method of making of the complex monitoring program are leading. The principal methods of control on geological environment condition and for cast of technical alterations are describing.

К 1502010000(4309000000)—033
077(05)—95 89-95

ББК 26.3

ISBN 5-211-03344-2

© В.А. Королев, 1995

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящем учебнике обобщен многолетний опыт преподавания курса “Мониторинг геологической среды” на кафедре инженерной геологии и охраны геологической среды геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Необходимость данного издания обусловлена, с одной стороны, отсутствием подобного рода учебной литературы, а с другой — настоятельной необходимостью подготовки специалистов в области экологической геологии, владеющих современными методами и методикой организации мониторинга геологической среды. Цель данного учебника — ознакомить студентов с основными положениями методики эколого-геологических исследований для получения оптимальной информации о состоянии геологической среды, для обоснования и уточнения эколого-геологических прогнозов и рекомендаций по оптимизации работы системы “инженерное сооружение – геологическая среда”.

В первых трех главах рассматриваются вопросы общего характера, касающиеся терминологии, понятия геологической среды, природно-технической системы, техногенных воздействий, целей и задач мониторинга, его структуры, особенностей его организации на различных иерархических уровнях: детальном, локальном, региональном и национальном. Здесь же подробно анализируются методические вопросы создания системы мониторинга, отдельных его блоков, рассматривается применение общих и специальных методов контроля за параметрами геологической среды, система сбора и обработки информации.

В четвертой главе анализируются методы изучения техногенных изменений геологической среды, наблюдательные сети и программы наблюдений, наземные и дистанционные методы исследований в системе мониторинга, основы методики оценки техногенных изменений геологической среды, составление картографических моделей.

Пятая глава посвящена вопросам моделирования в системе мониторинга и составлению на его основе прогнозов изменения геологической среды при техногенном воздействии. Рассмотрены виды прогнозирования, методика составления прогнозных карт изменения геологической среды.

В шестой главе рассматриваются вопросы принятия рекомендаций и управляющих решений на основе теории управления и системного анализа. Здесь же анализируются способы проведения эколого-геологических экспертиз, экспертные оценки и решения в системе мониторинга, а также возможное управление геологической средой методами технической мелиорации.

В седьмой главе учебника рассматриваются особенности организации мониторинга применительно к различным видам хозяйственного освоения территорий и к различным видам техногенных воздействий, имеющих наиболее важное значение с точки зрения экологической геологии. Приведены особенности мониторинга в районах промышленного освоения территорий, включая различные виды горно-технической деятельности, мониторинг районов гидротехнических сооружений, городских агломераций, районов сельскохозяйственного освоения, мониторинг районов гидромелиоративного освоения, районов АЭС, а также территорий нефтегазопроводов и транспортных линейных сооружений.

В восьмой главе изложена методика составления целевой комплексной программы мониторинга геологической среды конкретной территории, представляющая собой по-существу один из возможных вариантов типовой программы организации мониторинга. Рассматриваются цель и задачи программы, ее структура, этапы организации мониторинга.

Каждая глава заканчивается контрольными вопросами для студентов и снабжается рекомендуемой литературой по рассматриваемому кругу проблем, облегчающими студентам самостоятельную подготовку и обеспечивающими рубежный контроль при освоении курса.

Автор считает своим долгом выразить благодарность Г.А. Голодковской, Д.Г. Зилингу, Е.М. Пашкину, В.В. Дмитриеву за ценные замечания, высказанные при чтении и подготовке учебника, а также признательность В.Т. Трофимову, взявшему на себя труд редактирования рукописи.

Автор с благодарностью примет отзывы и замечания по данному учебнику, которые следует направлять по адресу: 119899, ГСП, Москва В-234, Воробьевы горы, МГУ, геологический факультет, кафедра инженерной геологии и охраны геологической среды.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из первоочередных и глобальных задач современности, внимание к которой постоянно возрастает, является рациональное и экологически безопасное использование человеком природных ресурсов, в том числе геологических. Контроль за развитием геологических процессов, прогноз их развития, осуществление профилактических и защитных мероприятий приобрели в настоящее время характер актуальнейших задач государственного масштаба. Решение этих задач невозможно без наличия разномасштабных долговременных и целенаправленных наблюдений за объектами геологической среды, лишь на основе которых и могут быть установлены тенденции развития различных геологических процессов (как природных, так и антропогенных или техногенных), вскрыт механизм и разработаны рекомендации по их управлению. Именно решению этой задачи и служит мониторинг геологической среды.

В системе общего экологического мониторинга он играет одну из существенных ролей и составляет как бы его основу. Общая теория мониторинга окружающей среды, обоснование и определение основных принципов и связанных с ним понятий развиты в нашей стране в основополагающих работах И.П. Герасимова, Ю.А. Израэля, Ф.Я. Ровинского, В.Е. Соколова и других исследователей. Теоретические вопросы по проблемам мониторинга геологической среды изложены в работах А.А. Бондаренко, Г.К. Бондарика, А.Г. Гамбурцева, Г.А. Голодковской, В.К. Епишина, Ю.Ф. Захарова, И.С. Комарова, В.В. Кюнтцеля, В.А. Мироненко, Ю.Б. Осипова, А.Л. Ревзона, В.Т. Трофимова, А.И. Шеко, М.А. Шубина, В.Н. Экзарьяна и др.

В последнее время в мониторинге окружающей среды все большее значение приобретает экологический мониторинг. Он является комплексной подсистемой мониторинга биосферы и включает наблюдения, оценку и прогноз антропогенных (техногенных) изменений состояния абиотической составляющей биосферы, ответной реакции экосистем на эти изменения, превращений в экосистемах, связанных с воздействием загрязнений, сельскохозяйственным использованием земель, вырубкой лесов, урбанизацией территорий. Конечным результатом экологического мониторинга, по Ю.А. Израэлю, должна

быть оценка и прогноз состояния экосистем, оценка экологического равновесия в экосистемах.

Таким образом, мониторинг геологической среды выступает в экологическом мониторинге как подсистема наряду с такими видами (подсистемами) мониторинга, как климатический, гидрологический, географический, биологический.

Значимость государственной системы экологического мониторинга для страны давно была осознана в развитых государствах Западной Европы, США и Японии. Там давно функционируют и совершенствуются национальные сети экологического мониторинга, осуществляющие наблюдения за всеми природными компонентами.

Экологический мониторинг — система многоуровневая, реализация которой в пределах России еще только началась. И если некоторые подсистемы мониторинга в России уже достаточно полно организационно и структурно сложились (как, например, климатический и гидрологический), то другие подсистемы (в том числе и мониторинг геологической среды) еще ждут своей практической реализации в полном объеме. Пока мониторинг геологической среды реализуется на детальном и локальном уровнях и о его единой национальной сети по России пока говорить не приходится. Создание такой сети — задача ближайшего будущего, и уже сделаны важные шаги в этом направлении. Так, уже имеется межведомственная программа по разработке аэрокосмического мониторинга геологической среды территории России, созданы Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ, курирующее эти вопросы, а также Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Однако наряду с чисто техническими и экономическими трудностями реализацию в России единой национальной системы мониторинга геологической среды усложняет и отсутствие научно-методической базы по многим вопросам, и недостаток специалистов в этой области, прежде всего инженеров-геологов, гидрогеологов и геокриологов, имеющих экологическую подготовку. Восполнению указанных пробелов в этих областях, подготовке специалистов эколого-геологического профиля и должен способствовать в какой-то мере этот учебник по курсу "Мониторинг геологической среды", читаемому во многих вузах.

Глава 1

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ И ТЕХНОСФЕРЫ

1.1. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА КАК ЧАСТЬ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Существование и различные виды деятельности человека протекают на Земле в пределах так называемой окружающей среды. Под **окружающей средой** принято понимать систему взаимосвязанных природных и антропогенных объектов, в которых протекают труд, быт и отдых людей. Это понятие включает природные, социальные и искусственно создаваемые, различные по масштабам и назначению явления, прямо или косвенно воздействующие на жизнь и деятельность человека. Окружающая среда — это среда обитания и производственной деятельности человека. Понятие “окружающая среда” более общее, более широкое, чем понятия “внешняя среда” и “производственная среда”, которые являются ее составной частью. Производственная среда ограничена воздействием на человека только производственных факторов в условиях трудовой деятельности.

Факторы окружающей среды делятся на естественные (природные) и искусственные (антропогенные или техногенные). Естественные факторы определяются действием различных природных компонентов. При этом термином “природа” чаще всего обозначают совокупность объектов и систем материального мира в их естественном состоянии, не являющемся продуктом трудовой деятельности человека. Искусственные факторы возникают в процессе инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Природная среда является важнейшей составной частью окружающей среды, включающей в себя четыре главных компонента — живую (биоту, или биотическую) атмосферу, гидросферу и литосферу. Три последние в этом ряду геосферы образуют (по В.И. Вернадскому) **биосферу** — сложную наружную оболочку Земли, среду обитания биоты — живого “вещества” планеты. Таким образом литосфера является минеральной основой биосферы.

По определению В.И. Вернадского (1954), **земные оболочки** (близкий термин — “геосферы”), это “более или менее правиль-

ные концентрические слои, охватывающие всю Землю, меняющиеся с глубиной, в вертикальном разрезе планеты, и отличающиеся друг от друга характерными для каждой, только ей свойственными, особыми физическими, химическими и биологическими свойствами". Среди них выделяют внешние и внутренние земные оболочки. К внешним относятся атмосфера, поверхностная гидросфера, к внутренним — литосфера (включая земную кору и подземную гидросферу) и мантия, окружающие ядро Земли.

Литосфера (от греч. lithos — камень, sphaire — шар) — верхняя твердая оболочка Земли, имеющая большую прочность и переходящая без определенной резкой границы в нижележащую астеносферу, прочность вещества которой относительно мала. Согласно современным представлениям литосфера включает в себя земную кору, т.е. верхнюю сиалическую оболочку Земли, и отделенную от нее границей Мохоровичича жесткую верхнюю часть верхней мантии Земли. Сверху литосфера ограничена атмосферой и гидросферой, которые в нее частично проникают. Мощность земной коры, как известно, неодинакова и достигает 30–60 км под континентами и всего 5–10 км под океанами. П.Ф. Швецовым предложено понятие “гидролитосфера”, обозначающее верхнюю водно-каменную (т.е. содержащую гравитационную воду) подоболочку литосферы. При использовании этого понятия отпадает необходимость выделять термин “подземная гидросфера”. Характеристика основных естественных оболочек Земли и их соотношение, по А.Е. Ферсману, показаны в табл. 1.

Сложные естественные тела оболочек Земли представляют собой определенные системы, относящиеся к различным уровням и линиям взаимно пересекающейся и переплетающейся квазиерархической организации Земли в целом. Они отражают разные формы существования материи. В табл. 2 показаны основные соотношения геологических, географических систем, а также биогеосистем и биосистем в соответствии с представлениями И.В. Крутя. Здесь среди геологических объектов, наряду с вещественной (минерально-формационной) и эндогенно-структурной линиями геосистем, выделяется стратиграфическая линия организации, представленная специфическими историческими системами — стратоконтекстами. В собственно-географическом ряду геосистем выделяются снизу вверх по иерархии: урочища, ландшафты, зоны, провинции, пояса, материк и море, географическая оболочка. **Экосистемы** образуют свой таксономический ряд единиц (вплоть до биогеосферы), которые полностью не совпадают с физико-географическими системами, хотя и выделяются в их пределах. Существует также ряд собственно биологических систем от организмов и их сообществ (биоценозов, по К. Мебиусу, 1877 г.) до биосферы в целом.

Опт Оболочки Земли и их характеристика (по А.Е. Ферману, 1953)

Название оболочки	Мощность, км	Давление, МПа	Температура, °С	Химическая характеристика	Минералы	
Атмосфера	Стратосфера	$1 \cdot 10^{-6}$	-50 + 70	До 100 км содержание N_2 и O_2 уменьшается; H_2 , He, O	Пояс перюдического озона; граница паров воды	
	Тропосфера	10-15	55	N_2 , O_2 , Ar, Ne, He, Kr, Xe, O, H_2O , H_2CO_3		
Литосфера	Биосфера	Вверх 5 км, вниз 3 км	От -67,8 до +85	Около 0,1 (до 50)	Живое вещество	
	Гидросфера	Средняя 3,7	0 + 70	Около 0,1 (до 50)	Вода, лед	
	Кора выветривания	0,8	До +80	0,1-25	O, H, Si, Al, C, H_2CO_3 , Cl	Глинистые, кварц, лимонит, гипс, галит, боксит
	Осадочная	Средняя 4	До +100	До 100	То же	То же + кальцит, доломит, уголь
	Метаморфическая	5-10	До 350	< 250	O, H, Si, Al, C, H_2CO_3 , Cl	Кварц, полевые шпаты
	Гранитная	10	До 600	600	O, Si, Al, K, Na, Fe, Mg, Ca и др.	Кварц, полевые шпаты, слюда, магнетит, апатит

Подобно тому, как среди геологических объектов одно из центральных мест принадлежит геологической формации, а среди географических — ландшафту, среди экосистем важнейшей считается **биогеоценоз**, у которого могут выделяться структурные ярусные подсистемы — синузии. **Биогеоценоз** (от греч. *bios* — жизнь, *ge* — земля, *koínos* — общий) — единый природный комплекс, представляющий совокупность растений, животных и микроорганизмов с соответствующим участком земной поверхности (биотопом). Биогеоценоз характеризуется специфическими для него свойствами атмосферы (микроклиматом), геологического строения, условий рельефа, почвы, водного режима с образованием особой системы, обладающей определенным типом обмена вещества и энергии между различными организмами, а также организмами и средой обитания. Таким образом, биогеоценоз — это совокупность биотических и абиотических факторов — биоценоза и биотопа. При этом под **биотопом** (от греч. *bios* — жизнь, *topos* — место, местность) понимается участок земной поверхности, характеризующийся большей или меньшей однородностью геологического строения, микроклимата, водного режима, рельефа и почвенного покрова.

Перечисленные выше естественные геосферы представляют собой природные оболочки Земли. Кроме них выделяется также и искусственная (антропогенная) или техногенная “оболочка” — **техносфера**, созданная человеком искусственная среда обитания, рассматриваемая как часть биосферы. Техносфера, согласно А.Е. Ферсману и С.В. Калеснику, представляет собой материальную часть общественной системы — **социосферы**, взаимодействующую с природными системами. В рамках техносферы выделяются хозяйственные (технические) системы, являющиеся основными компонентами техносферы и объединяющие материально-технические средства производственной и сопутствующей ей деятельности, а также технологические процессы, соответствующие целям производства. Такими хозяйственными системами, например, являются промышленность, сельское хозяйство, строительство, жилищно-коммунальное хозяйство и т.д. Саму же геохимическую деятельность человечества А.Е. Ферсман назвал **техногенезом**.

В 1944 г. В.И. Вернадский предсказал преобразование биосферы в качественно новое состояние — в **ноосферу**, сферу разума, которую он рассматривал (еще не видя в этом угрозу состоянию окружающей среды) как новое геохимическое явление на нашей планете, когда человек становится крупнейшей геологической силой. В науках о Земле ноосфера рассматривается как планетарное явление, как особый этап развития планеты, как особая ее оболочка, в которой проявляется деятельность человеческого общества. Ноосфере

свойственны и механическая, и физико-химическая, и биогенная миграция вещества. Но не они определяют ее своеобразие: главную роль, согласно А.И. Перельману, играет техногенная миграция вещества на Земле. Ноосфера В.И. Вернадского, по мнению В.И. Крутя, представляет собой вторую (первая — техносфера) подсистему социосферы. Она идеальна и отражает духовную жизнь общества. В целом концепция ноосферы разработана пока слабо, хотя не вызывает сомнений основной тезис В.И. Вернадского и А.Е. Ферсмана о том, что человечество стало мощной геологической силой.

В настоящее время в ноосфере идут процессы формирования нового, экологического знания, направленного на рациональное взаимоотношение общества и природы. В соответствии с этим Ю. Одум выделил новую геосферу — экосферу, являющуюся объектом современной экологии (от греч. oikos — дом, место обитания и logos — учение; наука о закономерностях формирования и функционирования биологических систем и их взаимоотношениях с окружающей средой), или экологии окружающей среды. Экосфера включает в себя как неизменные биотические, абиотические и смешанные компоненты-системы, так и измененные. По мнению В.И. Крутя, именно с экосферой, а не с ноосферой связан новый этап развития биосферы В.И. Вернадского в материальном мире. Изучение процессов на уровне ноосферы в целом не должно ограничиваться только экосистемным подходом: оно должно включать все разделы естественных наук наряду с исследованием хозяйственно-экономических и общественно-политических аспектов.

Часть литосферы, а точнее земной коры, которая непосредственно выступает как минеральная основа биосферы, как один из важнейших компонентов окружающей среды, с конца 70-х годов выделяется под названием геологическая среда. Согласно Е.М. Сергееву (1979) под геологической средой понимается верхняя часть литосферы, которая рассматривается как многокомпонентная динамичная система, находящаяся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека и, в свою очередь, в известной степени определяющая эту деятельность. Геологическая среда это подсистема гидrolитосферы.

Верхней границей геологической среды является поверхность рельефа (дневная поверхность); нижняя граница — плавающая, неоднородная и неодинаковая по глубине в разных областях Земли. Она определяется глубиной проникновения человека в земную кору в ходе различных видов деятельности. Максимальная глубина проникновения человека вглубь все более увеличивается; в настоящее время сверхглубокое бурение достигло почти 12 км. Таким образом, в геологическую среду включаются почвы и верхние горизонты горных пород, рассматриваемых как многокомпонентные

системы. Следует особо подчеркнуть, что границы геологической среды в гидrolитосферном пространстве изменяются не только в пространстве, но и во времени по мере развития техногенных процессов и техногенеза в целом.

По отношению к геологической среде внешними средами являются атмосфера, поверхностная гидросфера (поверхностные воды) и собственно техносфера, включающая все виды инженерных сооружений и хозяйственных объектов. Соотношение геологической среды с внешними средами показано на рис. 1.

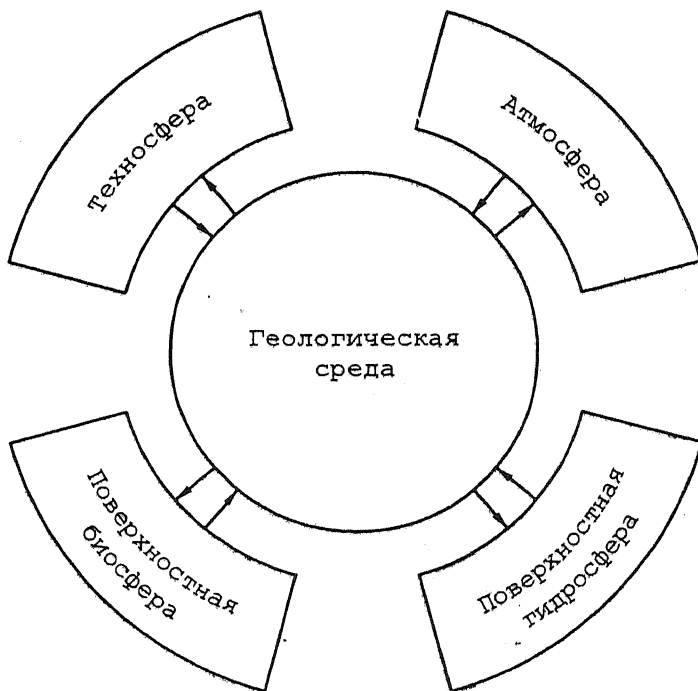


Рис. 1. Соотношение геологической среды с внешними средами

Внутренними составными частями или основными элементами (компонентами) геологической среды являются (рис. 2): любые горные породы, почвы и искусственные (техногенные) грунты, слагающие массивы той или иной структуры и рассматриваемые как многокомпонентные динамичные системы; рельеф и геоморфологические особенности рассматриваемой территории; подземные воды (подземная гидросфера); геологические и инженерно-геологические процессы и явления, развитые на данной территории. В вещественном отношении особенность геологической среды как подсистемы

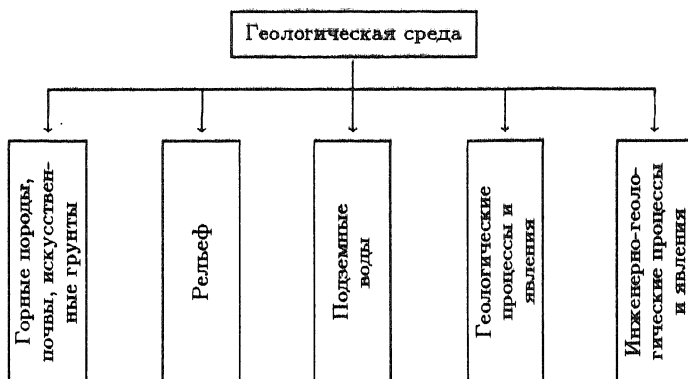


Рис. 2. Основные элементы геологической среды

гидролитосферы заключается не в комплексности, а в том, что в ней наряду с естественным распространено “вещество” техногенное (искусственное). Оно является или продуктом функционирования технических систем, или же веществом объектов техносферы. Это обстоятельство в вещественном отношении служит тем признаком, который оправдывает выделение геологической среды в особую систему.

Введение в научный оборот понятия “геологическая среда” имело огромное принципиальное значение. Такое понятие, как показал Е.М. Сергеев, не укладывается в рамки только одной геологической науки. Оно тесно связано со спецификой развития человеческого общества — взаимодействием литосферы как части природы и общества, взаимопроникновением естественного и социального. Геологическая среда в своем развитии подчиняется законам природы и общества, что дает основание рассматривать ее как явление естественно-социальное.

Исследователи расширяют понятие “геологическая среда”, рассматривая ее как литогенную основу любых экосистем — природных и техногенных. Геологическую среду характеризуют не только материальные объекты (компоненты геологической среды), но и энергетические объекты, в том числе геофизические поля, которые в значительной мере формируют так называемые геопатогенные зоны, природа которых пока не совсем ясна.

И, наконец, в завершение рассмотрения терминологических вопросов объектов окружающей среды необходимо остановиться на таком понятии, как “недра”. Этот термин широко употребляется в горном деле, экономической и юридической науках, узаконен он и природоохранным правом. Подчеркивая его отличие от термина “геологическая среда”, отметим, что он используется в связи с охраной

и рациональным использованием минеральных ресурсов (полезных ископаемых) гидrolитосферы, в то время как термин “геологическая среда” — в связи с использованием ее пространственно-материальных ресурсов.

1.2. ПОНЯТИЕ О ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Геологическая среда в инженерной геологии рассматривается как часть литосферы, взаимодействующая (сейчас или потенциально в будущем) с различными инженерно-хозяйственными объектами или инженерными сооружениями, созданными человеком. Под инженерными сооружениями здесь понимаются любые техногенные объекты техносферы, созданные человеком в процессе инженерно-хозяйственной деятельности в пределах геологической среды или на ее поверхности, включая открытые или подземные выемки. Термином “хозяйственная деятельность” или “инженерно-хозяйственная деятельность” обычно обозначаются всевозможные, воздействия происходящие в техносфере.

Сами же инженерные сооружения рассматриваются как источники техногенных воздействий той или иной природы на геологическую среду в целом или на ее отдельные элементы (горные породы, рельеф, подземные воды и др.). При этом источником техногенного воздействия не может служить какая-либо инженерно-хозяйственная деятельность человека сама по себе, например, строительная, сельскохозяйственная и т.п. Воздействие оказывается на геологическую среду в результате этой деятельности, и непосредственный источник воздействия, реализуемого в процессе этой деятельности, всегда материален.

Техногенными воздействиями называются различные по своей природе, механизму, длительности и интенсивности влияния, оказываемые человеком на объекты геологической среды в процессе его жизнедеятельности и хозяйственного производства.

Взаимодействие инженерного сооружения с геологической средой определяется сочетанием типа сооружения с типом среды как принципиально различных по материалу: “материал” геологической среды “живет” по природным законам, а материал инженерного сооружения — по техническим. При этом задача проектировщика (изыскателя, строителя, эксплуатационника) состоит в том, чтобы из этого разнообразного материала создать единую природно-техническую систему (ПТС), функционирующую в оптимальном по некоторым фиксированным критериям режиме. По В.К. Епшину (1985), природно-технической системой называется совокупность инженерного сооружения (комплекса инженерных сооруже-

ний) с частью геологической среды в зоне его (их) влияния, имеющей операционально фиксированные границы. Синонимом понятия ПТС, по ряду авторов, является термин “геотехническая система” (ГТС), под которой понимается совокупность взаимодействующих природных и техногенных систем. А.Л. Ревзон (1992) разделяет эти два понятия, считая, что “геотехническая система — совокупность форм взаимодействия инженерных сооружений с геологической средой, — является частью, подсистемой природно-технической системы. Последняя наряду с геотехнической включает в себя подсистемы: тропотехническую, акватехническую, биотехническую и историко-архитектурную. Таким образом, по А.Л. Ревзону, ГТС представляет собой структурно-функциональную часть ПТС.

Г.К. Бондариком было предложено понятие “литотехническая система”. М.А. Шубиным введено понятие “геосистемы (природно-технической системы)”, ориентированное на комплексирование геосистемного и программно-целевого подходов.

Понятие “геотехническая система” не следует путать с понятием “геолого-техногенная система”, под которой М.С. Голицын и В.Н. Островский понимают часть геологической среды, взаимодействующую с техногенными объектами. Определения геотехнической системы и геолого-техногенной системы подразумевают, что природные и техногенные компоненты взаимодействуют на равных.

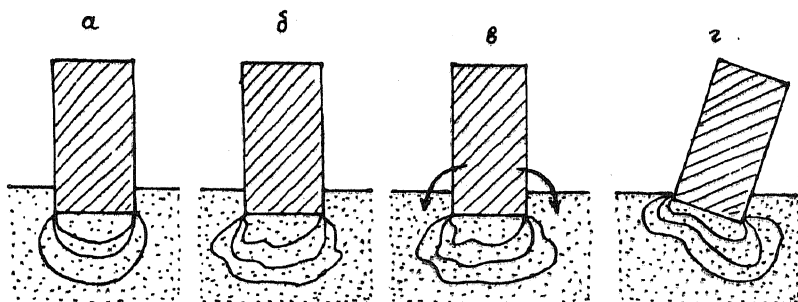


Рис. 3. Схема взаимодействия инженерного сооружения с геологической средой (объяснения в тексте)

В общем виде взаимодействие инженерного сооружения с геологической средой можно представить в виде схем, по В.К. Епишину и В.Т. Трофимову, показанных на рис. 3, на которых дано (в разрезе) простейшее инженерное сооружение с эпюрами напряжений в массиве горных пород (“элементарная” ПТС, по М.А. Шубину). На рис.3,а показана проектируемая ПТС с теоретической эпюрой напряжений в основании сооружения. Она отличается от реальной

ПТС (построенного сооружения) тем, что эпюра напряжений в массиве горных пород имеет более сложный (отличный от теоретического) вид (рис.3,б), отражающий реальную неоднородность массива и различные его особенности, которые на стадии проектирования не всегда удастся заранее оценить. Из этого следует, что уже на стадии проектирования ПТС должны быть выполнены прогнозы взаимодействия (не существующего пока) инженерного сооружения с изученной в процессе инженерно-геологических изысканий геологической средой, с тем чтобы в конечном итоге добиться максимального соответствия проектируемой и реальной ПТС. При этом понятие "проектирование ПТС" шире по объему, чем понятие "проектирование инженерного сооружения", так как помимо сооружения ПТС включает и часть геологической среды в границах взаимодействия с сооружением.

Действительные качественные и количественные характеристики фактического взаимодействия сооружения с геологической средой определяются лишь на стадии эксплуатации инженерного сооружения посредством различных процедур контроля функционирования ПТС. Такой контроль обеспечивается системой мониторинга геологической среды в пределах данной ПТС. Более подробно определение мониторинга геологической среды дано в гл. 2, здесь же отметим, что по результатам этого контроля, осуществляемого системой мониторинга, должны быть "вторично" выполнены определенные процедуры: корректировка целей ПТС, эмпирическая фиксация ПТС, корректировка оптимизации и управления (изменение режима эксплуатации, реконструкция инженерного сооружения, изменение системы инженерной защиты ПТС и т.д.).

В геодинамике воздействие геологической среды на механическую устойчивость и деформируемость инженерного сооружения может привести к переводу ПТС из стабильного (рис. 3,б) в аварийное состояние (рис. 3,в). Для исключения этого состояния прогноз корректируется осуществляемым с помощью мониторинга фактическим учетом изменения во времени прочностных и деформационных характеристик пород и оценкой вероятности воздействия на сооружение парагенетического комплекса эндо- и экзогенных геологических процессов, характерных для данного типа инженерно-геологических условий, а также с учетом фактических деформаций и изменения механической устойчивости инженерного сооружения. Помимо воздействия, оказываемого геологической средой на сооружение, происходит и обратное воздействие. Оно может проявляться в деформируемости пород основания, их разрушении, увлажнении за счет неконтролируемых утечек воды (рис. 3,в) и т.п., что может вызвать нарушение механической устойчивости сооружения. Это также вызывает

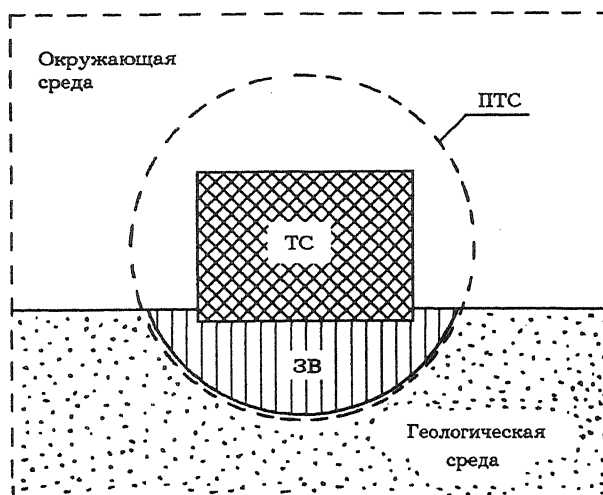


Рис. 4. Взаимодействие технической системы с внешними средами: ТС — техническая система; ПТС — природно-техническая система; ЗВ — зона воздействия (влияния) технической системы на геологическую среду

необходимость контроля функционирования данной ПТС, обеспечиваемого мониторингом.

Таким образом, структуру ПТС и взаимодействие инженерного сооружения (технической системы) с геологической средой и другими внешними средами более детально можно представить в виде схемы, показанной на рис. 4. Как видно из этой схемы, ПТС охватывает некоторое пространство, включающее собственно техническую систему (ТС), а также некоторую часть окружающей и геологической среды в пределах так называемой зоны влияния (ЗВ) или зоны воздействия технической системы на геологическую среду.

Рассматривая ПТС с позиций системного анализа, считают, что граница ПТС выбирается так, чтобы ограничить изменение геологической и окружающей среды под воздействием ТС в некотором оптимальном диапазоне по заранее выбранным критериям оптимальности. Эти границы в общей теории систем называются “гомеостатическими”. Они характеризуют допустимый диапазон изменений характеристик ПТС, внутри которого данная ПТС еще сохраняет механическую устойчивость или “гомеостазис системы” (от греч. *homoios* — подобный, тот же самый и *stasis* — состояние, неподвижность), т.е. не переходит в другую систему. Строго говоря термин “гомеостазис”, предложенный в 1929 г. американским физиологом У. Кенноном, применяется обычно к организмам для характеристики относительного постоянства их внутренней среды и устойчивости их основных физиологических функций, обеспечиваемых за счет ме-

ханизмов саморегуляции. В более широком плане этот термин используется и для абиотических систем, когда надо подчеркнуть их состояние функциональной устойчивости.

1.3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА, ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Достаточно ли обеспечения одной лишь механической устойчивости сооружению для оптимального функционирования ПТС? Очевидно нет. Построенное инженерное сооружение может быть устойчивым в механическом отношении, однако вследствие загрязняющих выбросов в геологическую среду (см. рис. 3,б) или выбросов так называемых поллютантов (от англ. pollution — загрязнение), оно может привести к загрязнениям, опасным для здоровья людей, находящихся в пределах данной ПТС. Следовательно, устойчивость функционирования ПТС должна рассматриваться с более широких, экологических позиций, с учетом взаимодействия ПТС и человека.

Антропоцентрическое научное направление в геологии окружающей среды, когда в центр геологических исследований ставится человек, Л.В. Вахиревой, Г.Л. Коффом и др. (1989) было предложено называть гигеологией. При этом гигеология рассматривается как наука об управлении геологической средой как многомерным динамическим факторным пространством, влияющим на сохранение, восстановление и улучшение здоровья человека. По существу же это понятие близко понятию “экологическая геология”. Этими авторами также введено понятие “естественный гигеологический потенциал территории”, являющийся объективной ее способностью поддерживать равновесие между окружающей средой и внутренней средой обитания человека.

Эколого-геологический аспект рассматриваемой проблемы предусматривает выяснение взаимосвязей и взаимовлияния трех основных факторов: геологической среды, техногенных воздействий на нее и на человека (или на биоту в целом). Взаимодействие между ними выглядит как показано в виде схемы на рис. 5.

Как следует из схемы (см. рис. 5), между тремя рассматриваемыми элементами действуют **прямые и обратные связи**. Прямая (1) выражается в управленческой функции человека над сооружениями, в их создании (разрушении) и не несет эколого-геологического содержания. Обратная связь (2) отражает прямое влияние сооружения на человека и имеет определенный собственно экологический аспект, но не имеет прямого геологического содержания. Поэтому связи (1) и (2) не являются предметом непосредственного изучения

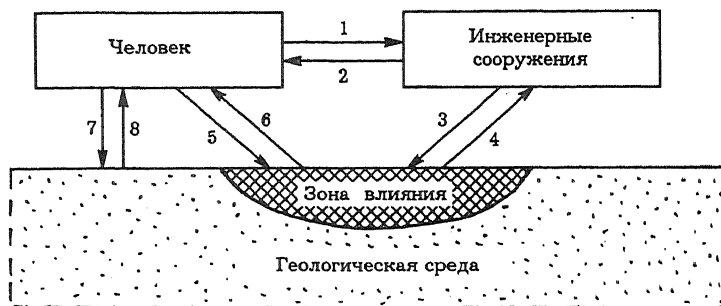


Рис. 5. Схема взаимодействия человека, инженерных сооружений и геологической среды

в экологической геологии (они учитываются лишь по мере необходимости в эколого-геологическом анализе ситуации).

Прямая связь (3) отражает техногенное воздействие человека через инженерное сооружение (непосредственное или косвенное) на геологическую среду с образованием в некоторой ее части зоны влияния и является предметом исследования экологической геологии и объектом мониторинга геологической среды. Обратная связь (4) отражает реакцию геологической среды или, точнее, зоны влияния на техногенные воздействия и также является предметом экологической геологии и традиционным объектом всестороннего инженерно-геологического исследования. Вместе связи 3 и 4 отражают техногенную взаимосвязь человека и геологической среды, техногенное взаимодействие.

Прямая связь (5) человека и зоны влияния отражает управляющее прямое воздействие человека на зону влияния, которое выражается в ее оценке, экранировании, стабилизации и т.д. Обратная связь (6) отражает реакцию зоны влияния по отношению к человеку (прямое или косвенное). Оба эти вида связей несут эколого-геологическое содержание.

И, наконец, прямая связь (7) отражает принципиально возможное непосредственное влияние человека на геологическую среду, осуществляемое вне сферы техногенного воздействия. Оно либо пренебрежимо мало, либо "в чистом виде" отсутствует. Однако обратная связь (8) в виде реакции природной геологической среды (не затронутой техносферой) на человека может быть существенной и проявляется в основном в виде катастрофических геологических явлений различного масштаба. Ее экологическое содержание определяется постольку, поскольку эти явления осложняют среду обитания человека.

Таким образом, зона влияния объектов техносферы на геологическую среду зависит от взаимосвязей (3)–(6), исследование которых

и представляет наибольший практический и теоретический интерес для инженерной геологии и экологической геологии. Традиционно в инженерной геологии изучалось в основном влияние геологической обстановки на механическую устойчивость того или иного сооружения (обратная связь 4), прямая же связь (3), т.е. как само сооружение влияет на геологическую обстановку, на те или иные элементы геологической среды, изучалась в инженерной геологии значительно меньше. Это влияние, как правило, проявляется медленно (уже после завершения строительства инженерного сооружения, иногда спустя десятилетия его эксплуатации) и вследствие этого требует систематического контроля — мониторинга, определение которого дается ниже (см. разд. 2.1).

В настоящее время единого определения термина “зона влияния инженерного сооружения на геологическую среду” нет. Как известно, этому понятию предшествовал термин “активная зона грунта под сооружением”, используемый в механике грунтов для определения нижней границы сжимаемой толщи под сооружением. Это узкое специфическое понятие. Н.В. Коломенский (1968) ввел понятие “сфера воздействия”, под которым понимается объем изменяемых под влиянием сооружения пород.

Впервые вопрос о необходимости разработки научно обоснованных принципов изучения формы и границ области взаимодействия сооружений и геологической среды был поставлен в 1980 г. на Всесоюзной конференции “Проблемы инженерной геологии”, проходившей в Ростове-на-Дону. Однако в то время зона влияния сооружения на геологическую среду рассматривалась лишь в чисто инженерно-геологическом, гидрогеологическом или геокриологическом аспектах, в нее не включался эколого-геологический смысл. При этом подчеркивалось, что четкое представление о форме и границах области взаимодействия сооружений и геологической среды необходимо для решения следующих задач: 1) уточнение общих закономерностей, характера и масштабов изменений геологической среды под воздействием сооружений и строительных выемок; 2) выбор методики и определение минимально необходимого объема инженерно-геологических исследований на конкретных объектах; 3) прогнозирование физико-геологических и инженерно-геологических процессов в период строительства и во время эксплуатации сооружений; 4) составление инженерно-геологических моделей массива горных пород и т.д.

Л.А. Молоковым в 1982 г. было введено понятие “область взаимодействия сооружения и массива горных пород”. Под этой областью им понимается та часть массива, в пределах которой в процессе строительства и эксплуатации сооружения происходят существенные

изменения состава, состояния и свойств горных пород или развиваются инженерно-геологические процессы. Границами этой области принимаются пределы, за которыми отмеченные выше изменения не имеют практического значения. Как видно, это определение имело сугубо инженерно-геологическую направленность и было лишено эколого-геологического содержания. Близкая трактовка этого понятия давалась Н.В. Коломенским, В.К. Елишиным и В.Т. Трофимовым, а также Г.К. Бондариком.

В то же время определение “зоны влияния” для целей эколого-геологических исследований или организации мониторинга геологической среды должно отражать экологический аспект рассматриваемой проблемы. В этом смысле зону влияния сооружения правильнее называть “зоной эколого-геологического влияния”, что подчеркивает целенаправленность рассмотрения проблемы, ее экологический аспект.

В соответствии с этим зоной эколого-геологического влияния инженерного сооружения на геологическую среду называется та часть геологической среды, в пределах которой под влиянием прямого или косвенного техногенного воздействия происходят существенные изменения всех или некоторых ее элементов, имеющие экологическое значение для человека. Границами этой зоны являются пределы, за которыми эти изменения отсутствуют или несущественны с экологической точки зрения. Отсюда следует, что вопрос о критериях, в соответствии с которыми будут выделяться зоны эколого-геологического влияния, является центральным в рассматриваемой проблеме. Каковы экологические требования, заложенные в эти критерии, насколько они жестки — от этого будет зависеть и размер зон влияния. Таким образом, размер зон эколого-геологического влияния не может быть однозначно объективно определен. В его оценку так или иначе всегда вносится субъективный элемент, обоснованность которого и должна составлять главную часть эколого-геологических исследований.

В инженерной геологии, гидрогеологии и геокриологии давно используется такое понятие, как “качество территории” (по геологическим и гидрогеологическим условиям). Однако в последнее время в этот термин вкладывается все более “экологический” смысл. Так, Е.С. Дзекцер (1992) под качеством территории предлагает понимать “совокупность фиксированных свойств территории, определяющих степень ее пригодности как среды обитания человека и возможности повышения этой степени”. Таким образом, “качество территории” характеризует прагматическое (потребительское) отношение человека или общества в целом к объектам геологической среды. В общем случае геологическое “качество территории” (как освоенной, так и предназначенной к освоению) является характеристикой природной

и природно-технической системы, выражающей степень ее полезности, и в том числе экологической безопасности для человека. В этом смысле понятие “качество территории” стоит близко к рассмотренному выше понятию “естественный гигиологический потенциал территории”.



Рис. 6. Схема биогеохимической пищевой цепи миграции химических элементов (по В.В. Ковальскому, 1976)

Экологическая безопасность (или опасность) территории проявляется сложным образом, в том числе по так называемым **экологическим цепям**, которые могут быть прослежены от практически любых объектов неживой природы (элементов геологической среды) к человеку через многочисленные промежуточные звенья цепи. В частности, для химических компонентов горных пород и почв имеет место так называемая “биогеохимическая пищевая цепь миграции” (рис. 6). Исследованием конкретных особенностей таких цепей в региональном плане занимается биогеохимия. Их наличие обуславливает санитарно-гигиеническое качество территории, от которого зависят условия существования живых организмов и в том числе — человека. В процессе биогеохимического районирования территорий выделяются определенные провинции с теми или иными особенностями пищевых цепей. Потребляя по цепи те или иные необходимые химические элементы (в том числе микроэлементы), человек обеспечивает тем самым нормальную регуляцию жизненно важных функций своего организма. При этом область возможной нормальной регуляции функций организма в общем всегда ограничена (рис. 7) и характеризуется нижней и верхней пороговыми концентрациями элементов, потребляемых человеком по биогеохимической цепи. Таким образом, к понятию качества территории можно подойти и с этих санитарно-гигиенических или эколого-биогеохимических позиций.

В этой связи понятие “качества территории” близко стоит к понятию “риск”, которое также давно используется в инженерной геологии и смежных отраслях при разработке вопросов инженерной

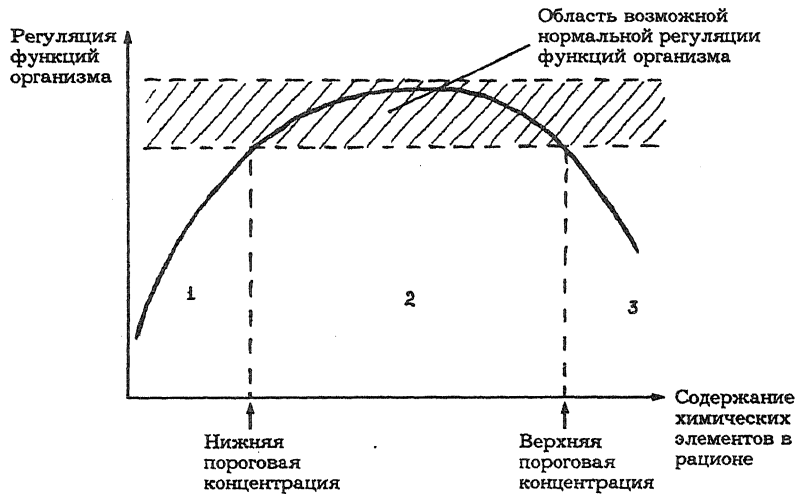


Рис. 7. Зависимость регуляторных процессов в организме от содержания химических элементов в рационе (по В.В. Ковальскому, 1976)

защиты территории. По Е.С. Дзекцеру, “риск — это мера (вероятностная) возможности реализации опасности в виде некоторого ущерба (R) в искусственно создаваемой действиями субъекта ситуации (например, при строительстве и эксплуатации сооружений в сейсмоопасном районе, в пределах потенциально подтопленной территории и т.д. или при отсутствии соответствующей превентивной системы защиты) больше допустимого R”. Таким образом, если опасность — это только предостережение субъекту (людям, организациям, а в широком смысле — обществу) о грозящем ему ущербе, то риск уже характеризует вероятность реализации заданного ущерба. При этом действия субъекта могут вызвать опасность для себя (внутренний риск) и для объекта и среды (внешний риск). Причина риска — это, как правило, отсутствие у субъекта необходимой информации и знаний о закономерностях возникновения и развития процессов формирования неблагоприятных процессов (детерминированных и стохастических).

В связи с этим понятие “качества территории” должно включать в себя и существующую степень опасности для человека и возможную ее реализацию (риск). Так, если на рассматриваемой территории существует вероятность возникновения или интенсификации каких-либо неблагоприятных инженерно-геологических процессов (оползней, карста, подтопления и т.д.), представляющих опасность для человека и среды его обитания, то качество такой территории значительно снижается. Однако общепринятых количественных способов и критериев оценки качества территории пока не существует

(некоторые из них рассматриваются в гл. 4). Чаще всего для этого проводится построение соответствующих карт пораженности (существующей и потенциально возможной) территории различными инженерно-геологическими процессами. На рассматриваемой территории необходимо выделять различные факторы риска, которые могут быть внутренними и внешними, существующими и потенциальными, зональными, региональными, локальными, детальными и точечными, постоянными и временными, естественными и искусственными, детерминированными и случайными, а также экономическими, социальными, политическими, психологическими и др. Таким образом, фактор риска — это воздействие, приводящее с той или иной вероятностью к экстремальной ситуации.

Однако для решения всех этих вопросов необходимо прежде рассмотреть и сами техногенные воздействия, которые оказываются человеком на геологическую среду в процессе его деятельности.

1.4. ТЕХНОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Исследование вопросов, связанных с эколого-геологической оценкой территорий и организацией мониторинга геологической среды, невозможно без анализа техногенных воздействий на рассматриваемой территории, без их типизации и классифицирования. Масштабы проявления техногенных воздействий человека на геологическую среду, их структура и интенсивность формировались и изменялись одновременно с развитием общества и достигли наивысшего развития в современный период, который характеризуется возникновением опасности полных необратимых негативных изменений геологической среды и ее глобальных изменений в целом. В связи с этим в инженерной геологии огромное внимание уделяется вопросам систематизации, классифицирования и типизации техногенных воздействий.

Вопросы систематизации техногенных воздействий на геологическую среду начали разрабатываться с 50–60-х годов нашего столетия. В настоящее время предложено много как общих, так и частных, классификаций техногенных воздействий, построенных по разным признакам деления, однако ни одна из них не является общепринятой, и ни одна из них не является всеобъемлющей в смысле охвата воздействий разных категорий. Отсутствуют и нормативные документы по их типизации и терминологии, связанной с ними. Более того, во многих классификациях техногенные воздействия отождествляются с источниками воздействия, видами хозяйственной

деятельности или даже их последствиями, что вносит сильную путаницу в понятия.

Анализ существующих схем типизации техногенных воздействий показывает, что их разработка ведется в трех направлениях: 1) по видам хозяйственной деятельности; 2) по набору определенных воздействий на конкретный компонент геологической среды; 3) по комплексу параметров, отражающих природу воздействия.

Одна из первых попыток типизации техногенных воздействий по комплексу признаков была сделана в 1967 г. Ф.В. Котловым. Им выделены категории техногенных воздействий по времени действия, направленности, площади и другим признакам. Кроме того, по воздействию на определенный компонент геологической среды им выделено три вида воздействий на: 1) напряженное состояние пород; 2) тепловое состояние пород и подземных вод; 3) режим поверхностных и подземных вод. В дальнейшем Ф.В. Котлов увязал типизацию техногенных воздействий с классификацией вызванных ими процессов, а затем с изменением природных физических полей. Близка к этой систематизации и схема М. Арну (1984), а также схема выделения признаков типизации, предложенная Е.М. Сергеевым и В.Т. Трофимовым (1985).

Разрабатывая это направление, А.Д. Жигалин в 1985 г. предложил подробную классификацию источников и типов техногенного воздействия. Источники воздействия классифицируются им по типам, периодичности, интенсивности, по форме, размерам, положению относительно объекта воздействия. По виду оказываемого источниками воздействия они подразделяются на источники физического, химического, биологического и геологического (!) воздействия, на подвиды — по воздействующим факторам. Однако многие техногенные воздействия в этой классификации не были учтены.

Многими авторами предложены частные схемы типизации техногенных воздействий на геологическую среду применительно к определенному виду деятельности: например, для горнодобывающей промышленности или гидротехнической деятельности, для АЭС, для городского строительства и т.д. При этом авторами во многих случаях под понятием “техногенное воздействие” понимались вид хозяйственной деятельности и те процессы, которые возникают как результат этой деятельности. Частные классификации техногенных воздействий, учитывающие источник, характер и результаты воздействия для некоторых видов деятельности, были разработаны Г.А. Голодковской и Ю.Б. Елисеевым (1989).

Характер и интенсивность техногенного воздействия на геологическую среду зависят от особенностей функционирования хозяйственных объектов. В реальной обстановке воздействия от отдельных

источников часто накладываются, суммируются, подавляются и видоизменяются. Это вызывает определенные трудности как при выделении и типизации техногенных воздействий, так и при их картографировании.

Одним из главных вопросов при разработке классификации техногенных воздействий является вопрос о признаках типизации или деления. Разрабатывая классификацию техногенных воздействий на геологическую среду В.Т. Трофимовым, В.А. Королевым и А.С. Герасимовой (1995), в ее основу были положены следующие методологические положения:

1. Признаки типизации должны отражать основные черты техногенных воздействий на геологическую среду разной природы; природа воздействия, его механизм должны быть отражены в его основном таксоне — классе. В соответствии с этим выделяются следующие классы воздействий: физическое (в котором выделяются подклассы, обусловленные действием различных физических полей: механического, гидромеханического, гидродинамического, термического, электромагнитного, радиационного), физико-химическое, химическое, биологическое. Воздействия перечисленных классов не сводятся друг к другу и оказываются полем соответствующей природы, техногенного происхождения. Поэтому к характеристике техногенного воздействия данного класса в принципе применимы все показатели, используемые для оценки любого физического поля (интенсивность, геометрические размеры в трехмерном пространстве, стационарность или нестационарность поля во времени и т.д.).

2. В таксономическом ряду воздействий целесообразно выделить класс (подкласс), тип, вид и разновидность воздействия. Класс выделяется по природе (механизму) воздействия; тип — по характеру воздействия с учетом симметрии “прямого” и “обратного” действия (например, охлаждение — нагревание, уплотнение — разуплотнение и т.д.) безотносительно к источнику воздействия; вид воздействия — по конкретному техногенному влиянию, оказываемому тем или иным источником, раскрывающим его индивидуальность; разновидность воздействия может быть выделена по дополнительным частным признакам таким, как временной характер воздействия, геометрические размеры, положение в пространстве, обратимость, интенсивность воздействия, и т.п.

3. Все выделяемые таксоны не должны зависеть от иерархического уровня рассмотрения геологической среды, поскольку один и тот же тип или вид воздействия может проявляться на разных масштабных или иерархических уровнях. В соответствии с этим классификация техногенных воздействий должна исходить из единого методологического подхода независимо от масштабного уровня инженерно-геологических исследований, при этом при переходе от

одного уровня исследований к другому должна выдерживаться преемственность в осуществлении этого перехода.

4. Выделяемый вид (разновидность) воздействия должен характеризоваться конкретными количественными параметрами, отражающими его особенности, а также однозначно соотноситься с источником, его вызывающим и обуславливающим; он должен быть легко типизируемым для картографирования. Геометрические показатели техногенных воздействий, отражающие размеры зоны влияния (мощность, глубина, ширина, площадь, объем воздействия и др.), могут не включаться в таблицу типизации в качестве показателей (параметров) того или иного воздействия. Эти показатели применимы для характеристики зон влияния воздействий всех видов и разновидностей.

5. В типизации должны быть учтены лишь "первичные" техногенные воздействия, непосредственно влияющие на основные компоненты геологической среды: горные породы, почвы и искусственные грунты, рельеф территории, подземные воды и геодинамические процессы. Многие техногенные воздействия, влияющие на геодинамические процессы, оказываются по отношению к ним "вторичными" и проявляются через воздействия на породы, рельеф и подземные воды. Компоненты геологической среды, на которые оказывается непосредственное влияние данным техногенным воздействием, должны быть отражены в типизации для каждого вида.

6. Использование в типизации таких признаков деления, которые могут быть общими для всех типов воздействия, является нецелесообразным (например, таких признаков воздействий, как "постоянные и временные", "площадные и точечные", "прямые и косвенные" и т.д.). Все эти признаки деления могут и должны использоваться при выделении разновидностей воздействий.

В соответствии с указанными принципами была составлена классификация техногенных воздействий на геологическую среду, приведенная в табл. 3. В этой классификации первый класс техногенных воздействий на геологическую среду объединяет воздействия физической природы. Это самый большой и разнообразный класс, состоящий из шести подклассов.

К подклассу механического воздействия относятся техногенные воздействия на геологическую среду, оказываемые механическим путем без применения гидромеханизмов. Механическое воздействие передается на породы, рельеф и влияет на некоторые геодинамические процессы, но не передается непосредственно на подземные воды. В этом подклассе выделяются следующие шесть типов воздействий: уплотнение и разуплотнение, внутреннее (т.е. происходящее без изменения рельефа) разрушение массива и воздействия, происходящие с разрушением и переотложением грунтов и приводящие к

изменению рельефа: планировка рельефа, техногенная “аккумуляция” (образование положительных форм) и “эрозия” (образование отрицательных форм) рельефа.

К подклассу гидромеханических воздействий, в отличие от предыдущего, относятся механические, осуществляемые с помощью гидромеханизмов. Эти воздействия в основном передаются непосредственно на породы, рельеф и связаны с геодинамическими, но не передаются непосредственно на подземные воды. В этом подклассе выделяется всего два типа: гидроаккумуляция рельефа (образование положительных форм) и гидроэрозия (образование отрицательных форм) рельефа.

Подкласс гидродинамических объединяет собственно гидродинамические воздействия на подземные воды, на их гидродинамический режим. Они влияют как на вещественные компоненты геологической среды (горные породы и подземные воды), так и на геодинамические процессы. При этом изменения рельефа проявляются в результате активизации геодинамических процессов. К этому подклассу относятся воздействия двух типов: ведущие к повышению напора или уровня подземных вод и ведущие к их понижению.

К следующему подклассу отнесены техногенные воздействия термической природы, т.е. обусловленные действием положительных или отрицательных тепловых полей. Термическое техногенное воздействие вне криолитозоны в основном влияет непосредственно лишь на вещественные элементы геологической среды: горные породы и подземные воды и почти не влияет на рельеф и геодинамические процессы. В пределах же криолитозоны это воздействие оказывается одним из ведущих, существенно влияющим на все без исключения компоненты геологической среды, включая рельеф и различные геодинамические процессы. В этом подклассе выделено два типа воздействий: нагревание и охлаждение компонентов геологической среды.

К подклассу электромагнитных техногенных воздействий относятся воздействия, осуществляемые под действием электрических, магнитных или электромагнитных полей. Электромагнитные воздействия влияют непосредственно лишь на вещественные элементы геологической среды: горные породы и подземные воды и не влияют на рельеф и геодинамику территории. В подклассе выделяются воздействия двух типов: стихийные и целенаправленные. Первые обусловлены действием слабых электрических полей, они, как правило, длительны или квазипостоянны и связаны с утечками электричества, наведением слабых полей и т.п. Вторые обусловлены действием электрических полей как постоянного, так и переменного электрического тока высокой напряженности, они, как правило,

Таблица 3

Классификация техногенных воздействий на геологическую среду

Класс и подкласс воздействий	Тип воздействия	Вид воздействия	Компоненты геологической среды*: ПГИ ВРД	Разновидности воздействий	Показатели воздействия, единицы измерения	Потенциальные источники воздействия						
1	2	3	4	5	6	7						
Механическое воздействие	Уплотнение	Статическое (гравит.) Виброуплотнение Укатывание Трамбование Взрывоуплотнение Статическая разгрузка Динамическая разгрузка	ПГИ ПГИ ПГИ ПГИ ПГИ ГИ РД ГИ РД ГИ ГИ ГИ ПГИ ГИ П И РД И РД И РД И РД ПГИ РД ПГИ РД Г РД	а) по г) интенсив-	Давление, МПа Амплитуда, частота, Гц Уд. энергия, Вт/м ² То же Глубина скв. Работа, мощность, уд. энергия, Вт/м ² Коеф. изменности Уд. энергия Вт/м ² То же	Здания, сооружения Вибромеханизмы Автотранспорт, катки Метрополитен Взрывы Шахты, полости, Котлованы, взрывы Буровые скважины Горные комбайны Горные выработки Карьеры, разрезы Шахты, штольни Взрывы Агротехническая деятельность Шахты, рудники ТЭС, ТЭЦ, ГРЭС Комбинаты Строительство Строительство Объекты рекультивации Объекты мелиорации						
							Внутреннее разрушение массива	ГИ ГИ ГИ ПГИ ГИ П	б) по г) интенсив-	Работа, мощность, уд. энергия, Вт/м ² Горные выработки Карьеры, разрезы Шахты, штольни Взрывы Агротехническая деятельность		
							Аккумуляция рельефа"	Отсыпка терриконов Отвалообразование Создание насыпей Создание дамб	И РД И РД И РД И РД	г) по д) интенсив-	Коеф. изменности Уд. энергия Вт/м ² То же	Шахты, рудники ТЭС, ТЭЦ, ГРЭС Комбинаты Строительство
							Планировка рельефа	Строительная и дорожная планировка Рекультивация Террасирование склона	ПГИ РД ПГИ РД Г РД	д) по е) интенсив-	То же	Строительство Объекты рекультивации Объекты мелиорации

То же	Карьеры, разрезы Котлованы, каналы Дорожное строительство Шахты, рудники
То же	Строительство ТЭЦ, ТЭС, Хвостохранилища Шламоулавливатели
То же	Карьеры, разрезы Драги Водозаборы, подзем- ное выщелачивание
Изменение на- пора, уровня, влажности Уд. энергия Вт/м ²	Закачки, сбросы Утечки, промстоки С/х поливы, гидро- мелиорация
То же	Водозаборы Объекты мелиорации
Температура, тер. градиент	Домны, ТЭЦ, АЭС, ТЭС, ГРЭС, горячие цеа
град/м Уд. энергия Вт/м ²	Подземная вылавка серы, газификация Объекты технической мелиорации
То же	Полигоны ТБО Холодильники Закачки растворов Объекты технической мелиорации

Выделяются по признакам: 1) времени: постоянные, временные; 2) размера: крупные, средние, мелкие; 3) направления: прямые, обратные; 4) обратности: обратные, необратные; 5) ности: низкие, средние, высокие;

Физическое воздействие		Гидрохимическое воздействие		Термическое воздействие	
"Эрозия" рельефа	Формирование вымоков Рытье каналов, кот- лованов, разрезов Подрезка склонов Образование мульд проседания и опускания	ПГИ ПГИ Г ПИР	РД РД РД	Повышение напора	Повышение напора
Гидроаккумуляция рельефа	Гидронамыв дамб, плотин Намыв золотоотвалов Намыв насыпей, массив- вов	ИВРД ИВРД ИВРД		Снижение напора	Снижение напора
Гидроэрозия рельефа	Гидроэрозия массивов Просадочно-суффозион- ное воздействие	ГИВРД ПГИВРД		Нагревание	Нагревание
	Нагнетание, инъекция Подтопление	В ГИВ		Охлаждение	Охлаждение
	Орошение	ПГИВ Д			
	Откачки Дренаживание Осушение	В ПГИВ ПГИВ Д			
	Кондуктивное (до 100°) Конвективное (до 100°)	ПГИВ ПГИВРД			
	Обжиг (более 100°) Плавление Термическое упрочнение	ГИ ГИ ГИ			
	Биохимическое Кондуктивное Конвективное Замораживание	ПГИВ ГИВ ГИВ ПГИВРД			

Таблица 3 (продолжение)

1		2	3	4	5	6	7
Физическое воздействие	Электроматгитное воздействие	Стихийное	Наводка электрических полей	ПГИ		Напряженность, В/см Плотность А/м ²	Линии электропоездов Метрополитен Линии трамвая, троллейбусов, электросети
		Целенаправленное	Электрообработка Электроосмос Электролиз Электросиликатизация	ГИ ПГИВ ПГИВ ГИ		То же	Объекты технической меллиорации
Радиационное воздействие		Загрязнение	Короткоживущее радионуклидное Долгоживущее радионуклидное	ПГИВ ПГИВ	То же и по виду радионуклидов	Радиоактивность, В/час, мР/ч, м ² Б/кг (л)	Ядерные взрывы Выбросы АЭС Склады радиоактивных веществ АЭС, заводы по добыче и переработке радиоактивных в-в
		Очистка	Деактивация химическая Деактивация электрохимическая Деактивация биологическая Деактивация механическая	ПГИВ ПГИ ПГИВ ПГИ		То же	Объекты дезактивации и реабилитации
Химическое воздействие	Кольматирование	Гидратное	Капиллярная конденсация Дегидратация (сушка)	ПГИВ ПГИВ	То же, как среди физических воздей-	Градиент влажности	Асфальтовые покрытия
		Кольматирование	Физическое Физико-химическое	ПГИ ПГИ	ческих воздей-	Объем кольматации, м ³	Дренажные системы Объекты технической меллиорации

Физико-химические воздействия	Выщелачивание	Прямое Диффузионное Солонцевание Собственно водообменное	Г И В Г И В П Г И П Г И	стаций	Уд. энергия, Вт/м ² Емкость обмена, мг. экв/100г	Объекты выщелачивания
Физико-химические воздействия	Загрязнение	Фенольное, хлорфенольное Нитратное Пестицидное Гербицидное Тяжелыми металлами Углеродородное Кислотное Щелочное Засоление	П Г И В П Г И В П Г И В П Г И В П Г И В П Г И В П Г И В П Г И В П Г И В	То же	Концентрация заряженных ионов, мг/л, мг/м ² Превышение ПДК Объемная скорость массопереноса, г/с · м ²	Химические фабрики Фермы, животноводство Склады отходов С/х деятельность Транспорт, выбросы АЗС, нефтехранилища Кислотные дожди Предприятия, стоки Внесение удобрений и др.
	Очистка	Нейтрализация Рассоление Разбавление	П Г И В П Г И В П Г И В	То же	То же	Мелиорация земель
	Закрепление массивов	Цементация Сяпкатизация Битумизация Смолизация Известкование и др.	Г И Г И Г И Г И П Г И		Объем закрепления, м ³	Объекты технической мелиорации
	Загрязнение	Бактериологическое Микробиологическое	П Г И В П Г И В	То же и по виду микроорганизмов	Превышение ПДК, уд. скорость переноса	Свалки ТБО С/х фермы, склады Слякосные ямы Канализация
	Очистка	Стерилизация	П Г И В	низмов	То же	Объекты очистки

*Примечание. В четвертой графе указаны 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.

кратковременны и связаны с целенаправленным воздействием на объекты технической мелиорации горных пород.

И, наконец, подкласс радиоактивных объединяет воздействия, вызванные радиацией. Они не оказывают влияния на рельеф и геодинамические процессы, а влияют только на вещественные элементы геологической среды (горные породы и подземные воды). В этом подклассе также выделяются два типа воздействий — радиационное загрязнение и радиационная очистка компонентов геологической среды.

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

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

В класс биологических воздействий объединяются техногенные воздействия биологической, точнее микробиологической природы, которые произвольно или непроизвольно вызываются человеком. Биологические техногенные воздействия оказывают влияние только на вещественные элементы геологической среды: горные породы и подземные воды и не влияют непосредственно на рельеф и геодинамические процессы. Среди них выделяются два типа воздействий — биологическое загрязнение и очистка компонентов геологической среды.

Таким образом, приведенная классификация объединяет все возможные виды техногенных воздействий на геологическую среду и может использоваться при эколого-геологических исследованиях и организации мониторинга геологической среды. Сами техногенные воздействия характеризуются различной природой, они действуют на разные компоненты геологической среды, и характер этого воздействия чрезвычайно разнообразен. В процессе хозяйственной деятельности человека воздействия на геологическую среду оказыва-

ются, как правило, комплексно, но, опираясь на данную классификацию, комплексные воздействия всегда могут быть расчленены на отдельные составляющие для их последующего анализа, оценки и отражения на картографических моделях.

1.5. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ

В соответствии с рассмотренной выше классификацией техногенных воздействий на геологическую среду (см. табл. 3), каждый вид воздействия характеризуется одним или несколькими количественными показателями. Показатели воздействий могут быть общими (одинаковыми для всех воздействий) и частными, отражающими особенности лишь данного воздействия. При этом не следует путать показатели техногенных воздействий на геологическую среду и показатели техногенной измененности геологической среды в результате этих воздействий: первые оценивают интенсивность воздействия, а вторые — его результат. Кроме того, их следует отличать от показателей чувствительности или устойчивости геологической среды к техногенным воздействиям. Это все различные группы показателей.

К **общим показателям** техногенных воздействий относятся геометрические показатели, характеризующие в трехмерном или в плоском пространстве размер зоны влияния данного источника техногенного воздействия, а значит и само воздействие. Это могут быть площадь и мощность зоны влияния; ширина, высота и длина зоны влияния; объем зоны влияния или какой-либо один из этих параметров. В принципе зона влияния характеризуется и своей специфической формой, которая также может быть описана геометрическими (математическими) параметрами или функциями.

Частными показателями техногенных воздействий являются специфические параметры, отражающие особенности только данного воздействия. В табл. 3 в графе 6 указаны только некоторые основные из этих частных показателей и единицы их измерения.

Поскольку физические техногенные воздействия в большинстве представлены физическими полями той или иной природы, то количественная характеристика этих воздействий может быть дана на основе **интенсивности** или **плотности** соответствующего поля с размерностью Вт/м². Например, этими параметрами может быть оценена интенсивность температурного поля, интенсивность механического (вибрационного) поля. Для плотности электрического поля блуждающих токов может быть принята размерность А/м². Если же интенсивность того или иного воздействия оценивать отношением энергии (или мощности) воздействия к единице площади или к

единице объема геологической среды, то соответствующими размерностями будут $\text{КДж}/\text{м}^2$ или $\text{КДж}/\text{км}^2$ ($\text{КДж}/\text{м}^3$ или $\text{КДж}/\text{км}^3$) и $\text{Вт}/\text{м}^2$ или $\text{КВт}/\text{км}^2$ ($\text{Вт}/\text{м}^3$ или $\text{КВт}/\text{км}^3$).

Для количественной оценки интенсивности массопереноса от источника техногенного воздействия (или наоборот) могут использоваться различные показатели, например, такие как объемная скорость переноса вещества через единицу площади с размерностью $\text{м}^3/\text{с}$ или $\text{кг}/\text{с}$.

Оценка химического воздействия может осуществляться также с использованием показателей скорости массопереноса. Собственно концентрация загрязнителя в тех или иных компонентах геологической среды является следствием техногенного воздействия, его результатом и ее величина становится информативной только в сравнении с начальной концентрацией того же загрязнителя либо с фоновой, либо с предельно допустимой концентрацией (ПДК).

Предельно допустимая концентрация (ПДК) — это гигиенический норматив, регламентирующий безопасное для человека загрязнение окружающей среды химическими (в том числе и радиоактивными) веществами. ПДК — необходимые критерии для осуществления санитарной охраны воздуха, воды, почвы и других компонентов окружающей среды. Количество ПДК вредных веществ для воздуха определяется в $\text{мг}/\text{м}^3$, для воды — в $\text{мг}/\text{л}$, для почвы и грунтов — в $\text{мг}/\text{кг}$. В соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 наряду с ПДК указывается класс опасности веществ (см. Приложения 2,3), а также агрегатное состояние вещества в реальных условиях контакта с людьми (для обоснования методов контроля). Вещества, способные проникать в организм через неповрежденную кожу, обозначаются специальными символами. ПДК утверждаются Министерством здравоохранения РФ, а контроль за их соблюдением возложен на органы и учреждения санитарно-эпидемиологической службы (СЭС). Наибольшее количество ПДК в России установлено для воздуха и воды (табл. 4), и несравнимо наименьшее количество — для почв (см. Приложение 6) и грунтов.

Наряду с ПДК используются такие показатели, как ориентировочно-безопасные уровни воздействия (ОБУВ). Они представляют собой временные ориентировочные гигиенические нормативы, ограничивающие содержание вредных веществ в объектах окружающей среды для обеспечения безопасных условий труда и быта людей. Это понятие введено вместо ранее применявшегося “расчетного ПДК” во избежание терминологической путаницы. ОБУВ применяются на стадии исследовательской и опытно-промышленной разработки, на стадии испытаний новых веществ и технологических процессов в ПТС. Они обосновываются расчетным путем по параметрам токсикометрии и краткосрочным экспериментам. ОБУВ

Таблица 4

Предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ в воде водоемов (БМЭ, 1983)

Вещество	ПДК, мг/л	Лимитирующий показатель вредности
Аммиак	2,0	Общесанитарный
Барий	0,1	Санитарно-токсикологический
Бензин	0,1	Органолептический
Бензол	0,5	Санитарно-токсикологический
Ванадий	0,1	Санитарно-токсикологический
Гексахлорбензол	0,05	Санитарно-токсикологический
Диметилформамид	10,0	Общесанитарный
Динитрофталин	1,0	Органолептический
Дихлорбензол	0,002	Органолептический
Дихлорэтан	2,0	Органолептический
Железо	0,5	Органолептический
Кадмий	0,001	Санитарно-токсикологический
Кобальт	0,1	Санитарно-токсикологический
Медь	1,0	Органолептический
Молибден	0,25	Санитарно-токсикологический
Нефть многосернистая	0,1	Органолептический
Никель	0,1	Санитарно-токсикологический
Нитрат (по азоту)	10,0	Санитарно-токсикологический
Нитрохлорбензол	0,05	Санитарно-токсикологический
Пропилбензол	0,2	Органолептический
Роданиды	0,1	Санитарно-токсикологический
Ртуть	0,0005	Санитарно-токсикологический
Свинец	0,03	Санитарно-токсикологический
Сероуглерод	1,0	Органолептический
Спирт изобутиловый	1,0	Санитарно-токсикологический
Сурьма	0,05	Санитарно-токсикологический
Титан	0,1	Общесанитарный
Толуол	0,5	Органолептический
Углерод четыреххлористый	0,3	Санитарно-токсикологический
Формальдегид	0,05	Санитарно-токсикологический
Фтор	1,5	Санитарно-токсикологический
Хлорбензол	0,02	Санитарно-токсикологический
Цинк	1,0	Санитарно-токсикологический

утверждаются Минздравом на ограниченный срок и впоследствии должны заменяться на ПДК.

Понятие ПДК, принятое в России, отличается от соответствующих зарубежных регламентаций. Так, в США распространено понятие "величины порогового предела" — Threshold Limit Values (TLV), означающее среднюю концентрацию вредных веществ за смену. Величины ПДК и TLV для отдельных веществ отличаются иногда в десятки раз в связи с различиями принципов гигиенического нормирования в этих странах.

Для характеристики микробиологического и бактериологического техногенного загрязнения используются, в частности, такие санитар-

но-гигиенические показатели, как БПК, коли-индекс и коли-титр. **БПК** — это биохимическая потребность в кислороде, косвенный показатель содержания нестойких, легко окисляющихся органических веществ в воде водоемов и в сточных водах. **Коли-индекс, коли-титр** — это количественные показатели фекального загрязнения воды, продуктов, почвы, грунта и других объектов окружающей среды, основанные на исследовании содержания в них кишечной палочки. Таким образом, концентрация загрязнителя более подходит к характеристике измененности геологической среды в результате загрязнения, а не для самого химического воздействия на геологическую среду.

Весьма сложной является проблема разработки **интегрального показателя**, который бы учитывал все виды воздействия на геологическую среду. Ценность такого показателя в практическом отношении определяется тем, что с его помощью было бы гораздо проще строить интегральные карты измененности геологической среды или интегральные карты техногенной нагрузки на геологическую среду: все воздействия оценивались бы в одной и той же размерности, а значит были бы сопоставимы и сравнимы друг с другом. Таким показателем могла бы быть удельная энергия или мощность техногенного воздействия, рассмотренная выше. Однако, поскольку техногенные воздействия имеют разную природу и механизм действия, поскольку они оказывают свое непосредственное влияние на различные элементы геологической среды, то, оценив в итоге тем или иным способом интегральный показатель техногенного воздействия мы, ничего не добьемся для его практического использования, поскольку будет неясно, какая часть энергии затрачивается на изменение пород, какая на подземные воды, какая тратится на преобразование рельефа и т.д.

В связи с этим, для того чтобы избавиться от размерностей показателей вообще и тем самым упростить их использование в картографических целях, проводят **нормирование** значений показателей, переводя их разными способами в безразмерные, чаще всего относительные величины. Для этого можно, например, разделить частное значение какого-либо размерного показателя на его фоновое значение или на максимальное (минимальное) значение (см. также разд. 4.4).

В связи с разработкой интегральных показателей техногенного воздействия на геологическую среду важной проблемой является оценка так называемых **предельно допустимых уровней** техногенного воздействия (ПДУ). Очевидно, для оценки ПДУ надо разработать соответствующие критерии, позволяющие определять тот или иной уровень воздействия. Пока такие критерии, как и ПДУ, не разработаны, однако, в рамках мониторинга геологической среды

можно подойти к решению этой проблемы. Большинство авторов в настоящее время считает, что в основу оценки ПДУ должны быть положены критерии оценки устойчивости геологической среды или ее элементов к техногенным воздействиям.

1.6. УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ К ТЕХНОГЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Выше (см. разд. 1.2) уже упоминалось понятие “устойчивость” применительно к механической устойчивости инженерных сооружений. Это же понятие в последнее время используется также для оценки устойчивости геологической среды и геосистем (в географии) к техногенным воздействиям. Понятие “устойчивость” относится к терминам свободного пользования и в разных науках применяется неоднозначно. Анализ этого понятия дается в работах А.Д. Арманд, А.С. Герасимовой, Г.А. Голодковской, М.Д. Гроздинского, Т.П. Куприяновой и др.

Согласно определению М.Д. Гроздинского (1987) “устойчивость геосистемы состоит в ее способности при воздействии внешнего фактора пребывать в одном из своих состояний и возвращаться в него за счет инертности и восстанавливаемости, а также переходить из одного состояния в другое за счет пластичности, не выходя при этом за рамки инварианта в течение заданного интервала времени”. Существует достаточно много форм устойчивости систем. На рис. 8 показаны аналоги проявления различных видов механической устойчивости физических систем.

По А.Д. Арманд (1992), необходимо различать два вида: “устойчивость 1” — неизменность во времени или в пространстве относительно к причине (внешней или внутренней), инертность, стабильность. Этот вид не предполагает активной реакции системы на воздействие, что отвечает ее стабильности. “Устойчивость 2” — способность систем противостоять внешним и внутренним возмущениям, сохраняя равновесное или гомеостатическое состояние, а также структуру, характер функционирования и траекторию движения в течение относительно продолжительного времени, сравнимого с характерным временем изменяющих систему процессов. Устойчивость этого типа в большинстве случаев возникает в результате способности ее к саморегулированию под действием обратных связей.

Устойчивость систем, в том числе и геологической среды, может быть рассмотрена и в термодинамической трактовке при анализе компонентов геологической среды как термодинамических систем. С этой точки зрения устойчивым равновесным состоянием термодинамической системы называется состояние, при котором

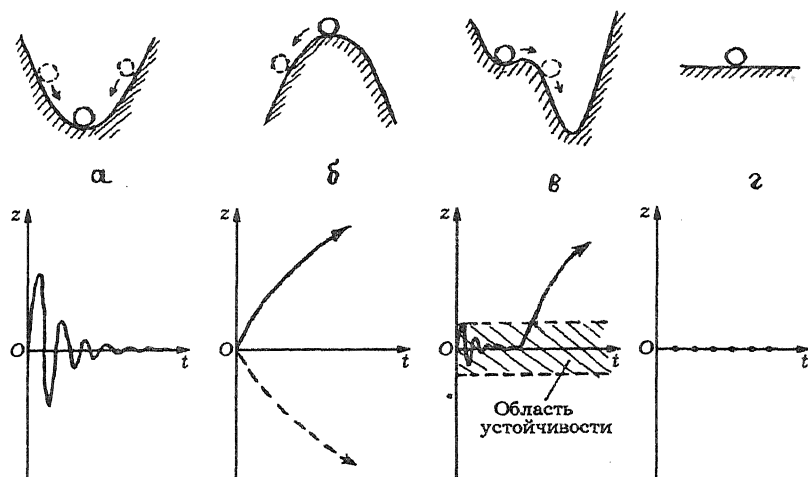


Рис. 8. Аналогии “механической” устойчивости систем и графики изменения их координат во времени: а — устойчивая; б — неустойчивая; в — метастабильная; г — индифферентная

всякое бесконечно малое воздействие вызывает только бесконечно малое изменение ее состояния, а при устранении этого воздействия система вновь возвращается в исходное состояние. “Устойчивость 1”, по А.Д. Арманд, соответствует равновесному термодинамическому состоянию системы — состоянию, характеризующемуся при постоянных внешних условиях неизменностью параметров во времени и отсутствием в системе потоков вещества и энергии. Как известно, в природе истинно равновесных систем не существует, поэтому и “устойчивость 1” должна рассматриваться как идеализация.

Устойчивое равновесное термодинамическое состояние надо отличать от стационарного состояния системы, т.е. такого, при котором значения параметров во всех частях системы остаются неизменными во времени благодаря внешнему воздействию потоков вещества, энергии, импульса, заряда и т.п. В частности, многие ПТС как раз и представляют собой стационарные системы, стационарность свойств которых поддерживается функционально заданными человеком потоками вещества и энергии в их технологическом цикле.

Для геологической среды и ее компонентов формы устойчивости имеют сложную структуру. Зависимость устойчивости геологической среды от интенсивности воздействующего фактора определяет дифференцированное обоснование предельно допустимых уровней (ПДУ) техногенной нагрузки для поддержания различных форм устойчивости, поскольку при незначительной интенсивности техногенной нагрузки устойчивость обеспечивается инертностью рассматриваемой системы, при усилении на нее воздействия — вос-

становливаемостью, а далее — пластичностью системы. При превышении ПДУ наступает отказ системы — ее разрушение, т.е. переход в качественно иное состояние (см. рис. 8).

Наряду с термином “устойчивость” применяются и другие понятия для характеристики взаимодействия геологической среды и инженерных сооружений. В частности, нередко используется такое понятие, как чувствительность геологической среды к техногенным воздействиям, гомеостазис (см. разд. 1.2), инвариантность. Чувствительность — понятие обратное по своему значению понятию “устойчивость”.

Г.А. Голодковская и Ю.Б. Елисеев (1989) относительно применения понятия “устойчивость” выделяют три возможных случая, различающихся по принципу конкретизации объекта. В первом случае устойчивость системы трактуется лишь относительно определенного вида воздействия на эту систему: например, механическая устойчивость массива по отношению к механическому воздействию и т.п. Поскольку число видов техногенных воздействий достаточно велико (см. табл. 3), то, соответственно, и велико число видов устойчивости. Во втором случае предполагается, что свойство устойчивости геологической среды является изначальным и не зависит от внешнего воздействия. Например, тип геологического строения территории, особенности взаимосвязи водоносных комплексов, наличие буферных зон и термодинамических геохимических барьеров определяют устойчивость данного типа территории к ее химическому загрязнению. В третьем — устойчивость геологической среды определяется на компонентной основе, т.е. выясняется подверженность отдельных компонентов геологической среды техногенным изменениям.

Таким образом, относительность понятия “устойчивость” заключается также в неопределенности величины незначительных допустимых изменений состояния системы — ПДУ. Величина ПДУ может быть определена по различным критериям. В частности, для отдельных видов воздействий устойчивость объектов геологической среды к данному техногенному воздействию определяется критическими величинами этих воздействий, превышение которых приводит к разрушению системы или переводу ее в новое состояние. Так, для механического воздействия на грунты ПДУ определяется критическими показателями их прочности или деформируемости и т.д.

Для количественной оценки устойчивости компонентов геологической среды к тому или иному воздействию может быть использован коэффициент устойчивости (K_y), предложенный С.И. Пахомовым и А.М. Монюшко (1988). K_y меняется в пределах от 0 до 1 и определяется двояко. В тех случаях, когда понижение

эколого-геологического качества системы сопровождается уменьшением какого-либо показателя, K_y определяется как отношение величины признака, сформировавшегося в результате действия данного техногенного фактора, к ее исходному значению

$$K_y = N_t/N_o,$$

где N_t — показатель какого-либо признака грунта или другого компонента геологической среды, испытавшего техногенное воздействие; N_o — тот же показатель до воздействия.

В тех же случаях, когда понижение качества системы характеризуется увеличением какого-либо показателя (например, величины набухания, загрязненности и т.п.), то коэффициент устойчивости рассчитывается как отношение исходной величины к конечной

$$K_y = N_o/N_t.$$

В соответствии с этим коэффициентом может быть разработана шкала устойчивости элемента к данному техногенному воздействию. Пример такой пятиступенчатой градации показан в табл. 5. Однако следует иметь в виду, что такая шкала вряд ли может быть универсальной для всех видов техногенных воздействий.

Таблица 5

Категории устойчивости компонентов геологической среды к техногенному воздействию

	Название категории	K_y	Характеристика категории
1	Очень высокая устойчивость	1,0–0,95	Ухудшение параметра системы при воздействии не более 5%
2	Высокая устойчивость	0,95–0,8	— " — не более 20%
3	Средняя устойчивость	0,8–0,5	— " — не более 50%
4	Низкая устойчивость	0,5–0,1	— " — более 50%
5	Неустойчивая	0,1–0	Разрушение системы или переход в новое состояние

Величина коэффициента устойчивости в большинстве случаев меньше единицы, что свидетельствует о снижении качества элементов геологической среды под влиянием техногенных факторов. При полном разрушении системы коэффициент устойчивости приближается к нулю. Если же коэффициент устойчивости становится больше единицы, это свидетельствует о повышении качества геологической среды, повышении устойчивости ее данного элемента к техногенному воздействию. Выбор и обоснование характеристик для расчетов K_y

имеют очень важное значение для оценки техногенного воздействия на геологическую среду (см. разд. 4.3) и должны основываться на ведущих свойствах рассматриваемых элементов геологической среды.

Не менее важен вопрос о механизмах устойчивости геологической среды и отдельных ее компонентов. Вопросы эти пока также плохо изучены, однако некоторые механизмы устойчивости уже известны. Согласно А.Д. Арманд все механизмы устойчивости делятся на четыре группы — механизмы, сохраняющие (стабилизирующие): 1) состояния систем; 2) тип функционирования; 3) структуру; 4) направленность (траекторию) движения систем.

Среди механизмов, сохраняющих состояние геологической среды и ее компонентов, выделяются: инерционность системы, закрытость (замкнутость) системы, проточность системы и отрицательная обратная связь. Хорошо известно, что с увеличением массы тела (массива) уменьшается его реакция на одиночный импульс (возмущение) и увеличивается время реакции на длительное воздействие одной и той же силы. Подобно инерционному телу реагирует на химическое воздействие стоячий водоем или замкнутый водоносный горизонт, на термическое воздействие — массив мерзлых пород и т.д.; во всех этих случаях амплитуда и скорость отклика системы на возмущение зависят от массы воды и мерзлых пород.

Инерционность систем может быть обусловлена наличием у них “резервной емкости”. Во всех случаях, когда устойчивость состояния определяется инерцией, происходит необратимое расходование некоторого “запаса”, определенного качества системы, при этом эффект прямо пропорционален произведению силы воздействия на его длительность и обратно пропорционален “запасу” массы системы или ее “емкости”. Так, в течение определенного времени может происходить накопление загрязняющих веществ в почве без видимых последствий для ее структуры, состояния, плодородия. При этом в барьерных зонах или во всей почвенной толще может происходить нейтрализация загрязнений, сопровождающаяся необратимым расходованием определенных элементов (см. разд. 7.4).

Стабилизации состояния элементов геологической среды служит и **изоляция** (или замкнутость) ее отдельных элементов. С точки зрения термодинамики геологическая среда представляет собой открытую неизолированную систему, т.е. систему, обменивающуюся веществом, и энергией с окружающей средой и другими системами. Однако отдельные ее компоненты могут находиться в квазизакрытом или квазиизолированном состоянии. Изоляции элементов геологической среды служат непроницаемые слои горных пород (водоупоры), слои пород с низкой теплопроводностью или в общем — породы с очень низкими коэффициентами тепло-, массо- и энергопереноса.

Изоляции также способствует наличие так называемых переходных слоев на границах раздела фаз в горных породах, переходных зон между элементами геологической и окружающей среды. В качестве последней, например, выступает слой выветрелых пород на границе с дневной поверхностью и предохраняющий нижележащие породы от разрушения. С термодинамической точки зрения возникновение слоя выветрелых пород обусловлено наличием градиентов обобщенных потенциалов (химических, термических, механических и других потенциалов) на границе двух сред — породы и атмосферы. Условия для возникновения этих градиентов могут быть созданы как естественным, так и техногенным путем.

Другой пассивный механизм устойчивости состояния систем связан с так называемой **проточностью**, когда компоненты воздействия или его субстанции не “задерживаются” в системе, а выносятся из нее без существенных последствий для самой системы. Примером этого может служить вынос из системы загрязняющих веществ, например при промывке или инфильтрации. Проточности и стабилизации систем способствует также циклическая организация движения вещества в них (круговорот воды, химических элементов, превращения горных пород и т.д.).

Кроме рассмотренных механизмов стабилизации состояния геологической среды и ее элементов в ряде случаев действует механизм **отрицательной обратной связи**, когда поступивший на вход системы импульс, пройдя по цепи обратной связи, складывается с обратным знаком со следующим импульсом и начальное состояние системы в результате этого полностью или частично восстанавливается. Для абиотических систем этот механизм близок к термодинамическому принципу Ле Шателье, согласно которому система меняется в ходе оказанного на нее воздействия так, чтобы снизить это воздействие и его результат.

Среди механизмов устойчивости функционирования абиотических систем на первое место ставится **дублирование** элементов, выполняющих одни и те же функции: выход из строя одного из элементов дублируется другим, и система продолжает функционировать, как и прежде. В тех случаях, когда инвариантом оказывается структура системы, на ее сохранение продолжают работать все рассмотренные выше механизмы стабилизации состояния. Наименее изучены и наиболее сложны механизмы сохранения направления (траектории) развития геологической среды и ее элементов, в основе которых лежат фундаментальные геологические закономерности развития литосферы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ГЛ. 1

1. Что такое окружающая среда? Идентична ли она понятию “природная среда”?
2. Назовите основные геосферы или структурные оболочки Земли.
3. Что такое геологическая среда? Каковы ее основные элементы?
4. Каковы критерии выделения границ геологической среды?
5. Что такое природно-техническая система? Каковы ее основные элементы?
6. Каковы критерии выделения границ ПТС?
7. Что такое гомеостазис природно-технической системы?
8. Идентичны ли понятия “проектирование сооружения” и “проектирование природно-технической системы”?
9. Что входит в понятие “техногенное воздействие на геологическую среду”?
10. По каким признакам могут классифицироваться техногенные воздействия?
11. Какой природы бывают техногенные воздействия на геологическую среду?
12. Что такое “комплексное техногенное воздействие”?
13. Что является источником техногенных воздействий?
14. Что называется последствием техногенных воздействий?
15. Какими показателями можно оценить техногенное воздействие на геологическую среду и техногенную измененность геологической среды?
16. Что такое интегральный показатель? Как можно проводить нормирование показателей?
17. Каково соотношение понятий “устойчивость” и “чувствительность” геологической среды?
18. Какие можно выделить виды устойчивости геологической среды?

Глава 2

ПОНЯТИЕ О МОНИТОРИНГЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

2.1. ВИДЫ МОНИТОРИНГА

Термин мониторинг вошел в научный оборот из англоязычной литературы и происходит от английского слова *monitoring* — контрольное наблюдение. В свою очередь слово *monitoring* происходит от английского *monitor*, имеющего в английском языке несколько значений*): 1) старший ученик, наблюдающий за порядком в младшем классе (в так называемых ланкастерских школах, основанных на принципе взаимного обучения); староста в классе; 2) монитор, прибор или устройство для наблюдений и постоянного контроля за чем-либо; 3) тип корабля.

Понятие мониторинг подразумевает постоянное контролирование чего-либо, проведение *постоянного наблюдения* за чем-либо. Так, например, в медицине утвердился термин **мониторное наблюдение** или **мониторирование** — длительное, проводимое на протяжении нескольких суток слежение за состоянием жизненно важных функций организма путем непрерывной регистрации показателей этих функций**). Наряду с этим в медицине различают также и генетический мониторинг — контроль темпа мутационного процесса организма. При этом сама идея генетического мониторинга возникла в связи с опасностью для человека ионизирующих излучений и химического загрязнения окружающей, в том числе и геологической, среды, поскольку распространение мутагенных факторов в окружающей среде вызвало необходимость прямой оценки их влияния на наследственность человека.

Термин “мониторинг” и его производные широко используются в различных областях знаний: в биологии, медицине, географии и геологии. Многообразие объектов наблюдений или объектов мониторинга привело к большому числу терминов и понятий, характеризующих различные виды мониторинга.

*) Англо-русский словарь. Сост.: Аракин В.Д. и др. 5-е изд. М., Гос. изд-во иностр. и нац. словарей, 1963, 988 с.

***) ВМЭ, 3-е изд. М., Сов. энциклопедия, т. 15, 1981, 576 с.

Понятие мониторинга окружающей среды было впервые введено Р. Мэнном в 1972 г. на Стокгольмской конференции ООН и с тех пор постоянно развивается и обсуждается на различных международных конгрессах и совещаниях. На Стокгольмской конференции ООН мониторингом окружающей среды было предложено называть систему повторных наблюдений одного и более элементов окружающей природной среды в пространстве и во времени с определенными целями в соответствии с заранее подготовленной программой. Однако вскоре стало ясно, что такое определение сужает рамки содержания мониторинга и не позволяет во всей полноте раскрыть его цели и задачи.

У нас в стране одним из первых теорию мониторинга стал разрабатывать Ю.А. Израэль. Уточняя определение мониторинга окружающей среды, Ю.А. Израэль сделал акцент не только на наблюдении, но и на прогнозе, введя в определение термина “мониторинг окружающей среды” антропогенный фактор как основную причину этих изменений. Мониторингом окружающей среды он называет систему наблюдений, оценки и прогноза антропогенных изменений состояния окружающей природной среды. “Мониторинг — это система наблюдений, позволяющая выделить изменения биосферы под влиянием человеческой деятельности (мониторинг антропогенных изменений окружающей среды)” (Израэль, 1974).

В таком уточнении понятия мониторинга окружающей среды есть два дискуссионных момента, которые неоднократно обсуждались в научной литературе и важны в аспекте определения целей мониторинга: 1) наблюдать ли в ходе мониторинга только антропогенные изменения среды или природные тоже; 2) включать ли в цели мониторинга только наблюдения и прогнозы или еще и управление состоянием среды. Дело в том, что специфические методика наблюдений и прогнозов, теория и методология разработки мониторинга в целом сложились в соответствующих научных предметах и в практике работ существовавшего в 70–80-е годы Государственного Комитета СССР по гидрометеорологии и контролю среды. При этом сам мониторинг окружающей среды “произошел” от системы гидрометеонаблюдений и на первых порах технически базировался в основном на ее режимной сети. Отсюда возник предложенный Ю.А. Израэлем термин “климатический мониторинг” — система (служба) контроля, оценки прогноза изменений и колебаний климатической системы: атмосфера – океан – поверхность суши (включая реки и озера) — криосфера-биота. В ходе климатического мониторинга за погодой и климатом можно наблюдать, но управлять этими объектами наблюдения пока практически невозможно. В наблюдениях объектов “воздух” и “вода” относительно просто выделить антропогенное отклонение наблюдаемой величины от природного фона. Поэтому в

мониторинге окружающей среды необходим контроль как за природными, так и антропогенными изменениями. Дискуссию по этим вопросам завершил сам Ю.А. Израэль, который к 1990 г. пришел к выводу о том, что “мониторинг в конечном счете служит управлению состоянием окружающей среды и в конечном итоге — экономикой, самой жизнью, обеспечивает биологическую устойчивость и, что очень важно подчеркнуть, социально-экономическую устойчивость (так как служит управлению)”.

Как видно, в приведенном выше определении “климатического мониторинга” геологическая среда не упоминается, хотя отмечается криосфера. К понятию “климатический мониторинг” близко стоит и такое понятие, как “экологический мониторинг”. Объектом наблюдений последнего являются экосистемы, оценка их состояния (с точки зрения равновесия) и прогноз развития.

Одна из первых обзорных классификаций систем и подсистем мониторинга разных типов была составлена в начале 70-х годов Ю.А. Израэлем. Согласно этой классификации системы мониторинга могут подразделяться по разным признакам: по комплексу решаемых задач, объектам наблюдений, пространственному уровню, методам реализации и т.д. (табл. 6).

По Г.К. Бондарьку и Л.А. Ярг (1990), “мониторинг есть система информационного обеспечения процесса управления ПТС, позволяющего оптимизировать ее функционирование в заданном (заданных) аспекте: экологическом, экономическом, техническом, нравственном. С позиций содержательных мониторинг представляет собой систему наблюдений за режимом функционирования и прогноза функционирования ПТС”.

До конца 70-х годов в геологической литературе термин “мониторинг” почти не употреблялся: отсутствует он и в двухтомном “Геологическом словаре” (1973)*). Как видно из табл. 6, Ю.А. Израэлем также не выделялся мониторинг литосферы. Вместо него он использует понятие “геофизический мониторинг”, которое шире понятия “литосфера”. В то же время им выделяются подсистемы мониторинга криосферы и поверхности суши. Эти и другие обстоятельства свидетельствуют о том, что в данном виде классификация типов мониторинга не является строгой и всеобъемлющей. Более полно системы мониторинга окружающей среды и соотношение различных видов мониторинга показаны на рис. 9.

Одна из подробных схем общей типизации видов мониторинга была разработана В.Д. Минченко в 1990 г. В основу его типизации принято отношение к изучаемому природному объекту. Им выделено пять основных типов мониторинга: мониторинг окружающей среды,

*) Геологический словарь. В 2-х томах. М., Недра, 1973.

Таблица 6

Классификация систем (подсистем) мониторинга
(по Ю.А. Израэлю, 1974, с изменениями автора)

Признак классифицирования систем мониторинга	Типы существующих или разрабатываемых систем (подсистем) мониторинга
Универсальность системы	Глобальный мониторинг (включая фоновый и палеомониторинг) Национальный мониторинг Международный, "международный" мониторинг
Санация основных составляющих биосферы	Геофизический мониторинг Биологический мониторинг Экологический мониторинг (включающий оба предыдущих)
Загрязнение среды	Мониторинг загрязнений и изменений атмосферы, гидросферы, почвы, биоты Вариант: мониторинг атмосферы, океана, поверхности суши (с реками и озерами), криосферы
Техногенный источник воздействия	Инградиентный мониторинг (радиоактивных продуктов, шумов и т.д.) Мониторинг источников загрязнения
Глобальные проблемы	Мониторинг озоносферы Мониторинг океана Генетический мониторинг
Методы наблюдений	Мониторинг по физическим, химическим и биологическим показателям Спутниковый (космический) мониторинг
Комплексный подход	Медико-биологический мониторинг Экологический мониторинг Климатический мониторинг Вариант: биоэкологический, геоэкологический, биосферный мониторинг

атмосферы, биосферы, подземных и поверхностных вод, литомониторинг. Как видно, в таком подразделении также не выдержаны логические принципы деления.

В 70–80-е годы в зависимости от объекта наблюдений появились и такие термины, как "экосистемный мониторинг" (близкий к понятию "экологический мониторинг"), "мониторинг гидросферы", "почвенный мониторинг", "геомониторинг". Последний используется в географической литературе применительно к географической форме движения материи. В.А. Мироненко в 1993 г. ввел термин "гидрогеоэкологический мониторинг", а также "государственный гидрогеоэкологический мониторинг России", объектом которого являются подземные водные ресурсы России. Согласно И.А. Парабучеву (1992), мониторинг любых техноприродных процессов является составной частью "социально-экологического мониторинга". Термин "геофизический мониторинг" используется для абиотической компоненты

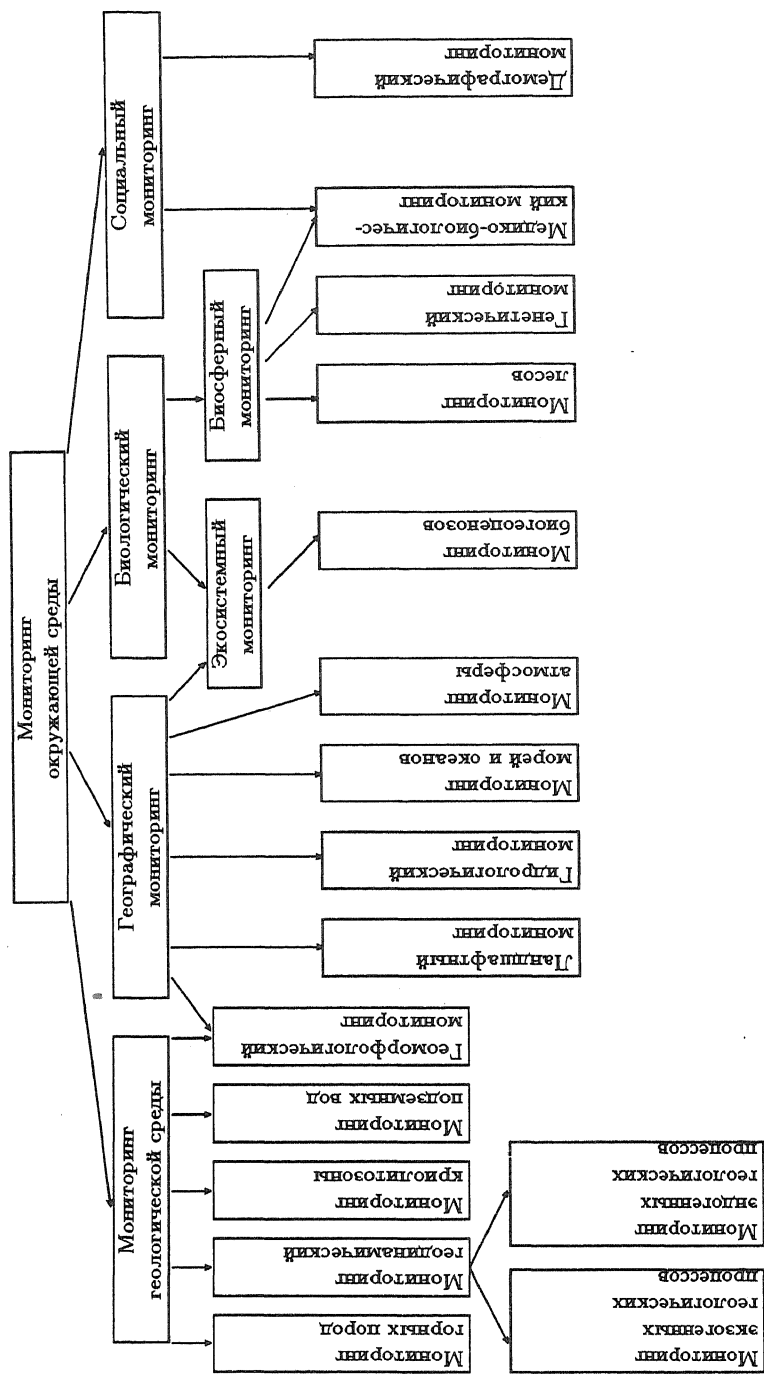


Рис. 9. Схема соотношения некоторых видов мониторинга

окружающей среды, когда надо подчеркнуть отличия биотической и абиотической компонент.

В 80-е годы был введен термин **литомониторинг**, который в отличие от мониторинга окружающей среды характеризуется более узким понятием, рассматривающим в качестве объекта наблюдения только литосферу. Согласно В.К. Епишину и В.Т. Трофимову, литомониторинг это система, включающая блок контроля (режимные наблюдения) и блок управления (автоматизированная информационная система и система защитных мероприятий). В этом определении подчеркивается целевая направленность литомониторинга не только на фиксирование параметров, но и на управление.

Существуют и другие определения термина "литомониторинг". Так, по Г.К. Бондарнику (1986), литомониторинг — система оценки состояния приповерхностной области литосферы, взаимодействующей с орудиями и продуктами труда, и прогноза ее функционирования, "это подсистема мониторинга среды обитания человека, включающей техносферу". Согласно же Л.В. Бахиревой и др. (1989), под литомониторингом понимается организованная с контрольными и прогнозно-диагностическими целями система повторяющихся, заранее спланированных в пространстве и времени наблюдений за динамикой развития геологической среды и ее компонент, зависящей от природных и техногенных факторов. Как видим, в этом определении в системе мониторинга должны осуществляться лишь контроль, оценка и прогноз изменений геологической среды без функции управления.

Одновременно с понятием литомониторинг появилось и понятие **мониторинг геологической среды**, а также **инженерно-геологический мониторинг**. Иногда эти понятия не разделяют, считая их тождественными и равнозначными. Однако, строго говоря, эти термины не тождественны друг другу постольку, поскольку не тождественны друг другу понятия литосфера и геологическая среда, составляющие предмет наблюдений в мониторинге, соответственно, в первом и во втором случаях. Обобщая известные на этот счет определения, можно заключить, что мониторингом геологической среды называется система постоянных наблюдений, оценки, прогноза и управления геологической средой или какой-либо ее частью, проводимая по заранее намеченной программе в целях обеспечения оптимальных экологических условий для человека в пределах рассматриваемой природно-технической системы.

В зависимости от разных признаков деления выделяется несколько видов мониторинга геологической среды. Так, например, в зависимости от широты охвата объектов наблюдений выделяют ком-

плексный мониторинг геологической среды, в рамках которого ведутся наблюдения за всеми элементами геологической среды, и частные виды мониторинга, в рамках которых проводятся наблюдения лишь за отдельными элементами геологической среды. К частным видам относятся: гидрогеологический мониторинг (или мониторинг подземных вод, или гидрогеоэкологический мониторинг); геоморфологический (ландшафтный) мониторинг; геодинамический мониторинг (мониторинг инженерно-геологических процессов); геокриологический мониторинг; почвенный мониторинг.

Гидрогеологический мониторинг (по В.А. Мироненко, 1993), или мониторинг подземных вод, направлен на решение задач управления подземными водами, рассматриваемыми как компонент окружающей среды; его объектом являются подземные водные ресурсы, оцениваемые как в количественном, так и в качественном аспекте.

Мониторинг криолитозоны, или геокриологический мониторинг, согласно П.И. Мельникову и др. (1993), — это система изучения, прогноза и контроля геокриологической среды, оценки изменений геокриологических, инженерно-геологических и гидрогеологических условий на Севере под влиянием природных факторов и хозяйственной деятельности человека. Геокриологический мониторинг, в отличие от других частных видов мониторинга, ограничен районами криолитозоны. Как видно из этих определений, в гидрогеологии и геокриологии даются близкие определения частных видов мониторинга, отличающиеся предметом наблюдений, но не содержанием. Частные виды мониторинга являются подсистемами комплексного мониторинга геологической среды, который, естественно, должен осуществляться специалистами разного профиля — инженерами-геологами, гидрогеологами, геокриологами (для районов криолитозоны), почвоведомы, геохимиками, геофизиками.

В зависимости от инженерно-хозяйственного освоения того или иного района (территории), в рамках которого осуществляется мониторинг геологической среды, выделяются следующие виды: мониторинг городских территорий (городских агломераций); промышленных территорий; районов горно-добывающих предприятий; районов гидротехнических сооружений; районов сельскохозяйственного и гидромелиоративного освоения; районов АЭС; районов транспортных линейных сооружений и др. Перечисленные виды, отражая специфику техногенной нагрузки на ту или иную территорию, являются, как правило, комплексными видами мониторинга геологической среды.

В зависимости от того, какими службами организован мониторинг геологической среды, выделяются два вида: **государственный**

(федеральный) и отраслевой (ведомственный). Первый планируется, заказывается и организуется централизованно государственными (федеральными) правительственными органами управления, — министерствами, государственными комитетами и т.д., второй — организуется по инициативе отдельных ведомств (например, транспортных, нефтедобывающих и т.д.) и отраслей промышленности. В принципе отраслевые системы мониторинга должны быть составными частями государственной (федеральной) системы, а не самостоятельными службами. Однако сложившаяся ситуация в России привела в настоящее время к существованию двух систем.

И, наконец, в зависимости от ранга организации и масштаба исследований мониторинг геологической среды может быть детального, локального, регионального, национального (государственного) и глобального уровня, специфика которых рассмотрена ниже.

2.2. СИСТЕМЫ И СЛУЖБЫ МОНИТОРИНГА

Как уже отмечалось выше, на Стокгольмской конференции ООН в 1972 г. была выработана Программа ООН по окружающей среде, включающая рекомендации по организации глобальной системы мониторинга окружающей среды (ГСМОС), основная задача которой состоит в раннем предупреждении о наступающих естественных или антропогенных изменениях состояния природной среды, которые могут нанести прямой или косвенный ущерб здоровью или благосостоянию людей.

С этого времени бывший СССР стал активным участником этой программы: была создана общегосударственная система наблюдений и контроля за состоянием и уровнем загрязнения природной среды, предусматривающая контроль за состоянием и степенью загрязнения атмосферного воздуха, почв, поверхностных и морских вод на трех уровнях: глобальном, региональном и импактном. Проводил ее существовавший тогда Государственный Комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды совместно с министерствами сельского хозяйства, мелиорации и водного хозяйства, здравоохранения и др. Наиболее полно в этой системе был создан мониторинг загрязнения атмосферы, осуществляемый общегосударственной службой наблюдений и контроля за загрязнением атмосферы (ОГСНКА). Его задачи, определенные Ю.А. Израэлем, сводились к следующим: наблюдения за состоянием загрязнения атмосферы; оценка уровня загрязнений и выявление причин его изменения под влиянием хозяйственной деятельности человека; прогноз ожидаемых изменений состояния загрязнения атмосферы. Централизованная сеть мониторинга загрязнения атмосферы в пределах СССР

функционировала с 1964 г. и включала 350 пунктов получения регулярной информации, а общее число наблюдений в рамках этой сети превышало 5 млн в год. Основные пункты наблюдений находились в городах и выполняли контролирующие функции загрязнений в пределах различных городских районов.

В рамках ГСМОС в 80-е годы в СССР были созданы системы мониторинга окружающей среды на базе многих ключевых природных объектов-аналогов, в качестве которых, в частности, выбирались биосферные заповедники (оз. Байкал, бассейн р. Оки и др.). Эти же системы проводили фоновый мониторинг. В рамках мониторинга окружающей среды разрабатывается и частично действует в настоящее время региональная межнациональная система мониторинга загрязнений морской среды бассейна Балтийского моря, в которой кроме России и Латвии участвует ряд государств балтийского региона.

Региональные и локальные системы мониторинга качества подземных и поверхностных вод существуют наряду с Россией во многих государствах: США, Англии, Франции, Японии, Нидерландах, Финляндии, Венгрии.

Впервые идея и основное содержание проблемы организации литомониторинга в СССР были высказаны в 1983 г. Е.А. Козловским и К.И. Сычевым. В 1984 г. во ВСЕГИНГЕО были разработаны цели и задачи мониторинга, определена его функциональная структура, схема его организации и проведения (Шеко, 1984).

С 1986 г. работы по литомониторингу в СССР проводились по двум программам: "Литомониторинг" по плану Министерства геологии СССР и разделу межотраслевой программы "Космос" по разработке основ аэрокосмического мониторинга геологической среды (АМГС). Реализация программ осуществлялась под совместным руководством существовавших тогда Министерства геологии СССР, Госкомитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, Главного управления геодезии и картографии и секции наук о Земле АН СССР (Совета по инженерной геологии и гидрогеологии). Предполагалось, что создаваемый мониторинг геологической среды будет тесно увязан с "общегосударственной службой наблюдений и контроля за уровнем загрязнений внешней среды" (ОГСНК), которая в свою очередь входила в состав программы "Глобальная система мониторинга окружающей среды" (ГСМОС), выполняемой в рамках ЮНЕП и ЮНЕСКО. На территории СССР были созданы некоторые действующие подсистемы литомониторинга, в частности — подсистема природно-мелиоративного мониторинга для оценки влияния мелиоративной сети на изменение геологической среды; геосистемный мониторинг мелиорируемых территорий для планирования, проектирования и эксплуатации мелиоративных систем, мелиоративного

преобразования ландшафтов; фоновый мониторинг почв для оценки фонового состояния почв как элемента окружающей среды; локальные подсистемы литомониторинга на некоторых месторождениях полезных ископаемых (Уренгой, Талнах и др.); мониторинг изменения геологической среды в условиях орошаемого земледелия (Узбекистан); локальные подсистемы литомониторинга подтопления городских территорий; локальные подсистемы мониторинга за развитием некоторых экзогенных геологических процессов и др. Следует отметить, что в 80-е годы работы в СССР по литомониторингу в основном проводились для изучения экзогенных геологических процессов (режим, факторы, активность, прогноз процессов и др.) без акцента на экологические проблемы, техногенное загрязнение геологической среды. Концепция глобального литомониторинга и его структура были разработаны Г.С. Вартамяном, М.А. Шубиным, Т.А. Грязновым и др.

С образованием СНГ единые исследования по созданию сети мониторинга в пределах территории бывшего СССР перестали проводиться. В настоящее время эта программа реализуется по отдельности в пределах стран СНГ и, естественно, осуществление ее в суверенных государствах проходит неравномерно. В России работы по организации мониторинга окружающей среды возглавляются "Федеральной службой России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды". С начала 90-х годов особое внимание в системе литомониторинга уделяется решению эколого-геологических проблем для оценки техногенного воздействия на геологическую среду. В 1992 г. началась разработка концепции "Государственного мониторинга подземных вод Российской Федерации", которая в последнее время переросла в концепцию "Государственного гидрогеоэкологического мониторинга России".

С начала 90-х годов в России разрабатывается проект "Мониторинг криолитозоны", проводимый в рамках Всемирной метеорологической организации ЮНЕП и координируемый Российской Академией наук. Его особенностью является то, что в рамках проекта изучается влияние глобальных климатических потеплений на криолитозону и, в частности, — на деградацию или сохранение мерзлоты. В рамках этой программы начаты работы по созданию единой циркумполярной наблюдательной сети геокриологического мониторинга с участием России, США и Канады, а также единой автоматизированной системы баз и банка данных.

Приоритетными направлениями мониторинга криолитозоны согласно этому проекту являются: получение постоянной информации о термовлажностном режиме грунтов, криогенных физико-геологических процессах и определяющих факторах; разработка,

опробование и совершенствование методов стационарного инженерно-геокриологического изучения при разведочных, изыскательских и строительных работах; изучение влияния техногенного воздействия на природные комплексы, оценка скорости их восстановления естественным путем и при осуществлении рекультивационных мероприятий.

В соответствии с разобранными выше определениями видов мониторинга, отличающимися друг от друга объектами наблюдения, можно говорить о простых и сложных (комплексных) системах мониторинга. В простых системах мониторинга наблюдают за какими-либо отдельными элементами окружающей среды, в сложных — за всеми элементами. Примером сложной (комплексной) системы является система мониторинга окружающей среды, включающая в себя в качестве подсистем “простые” системы мониторинга, выделяемые по основным элементам окружающей среды: мониторинг атмосферы, гидросферы, биосферы, литосферы, геологической среды, техносферы и т.п.

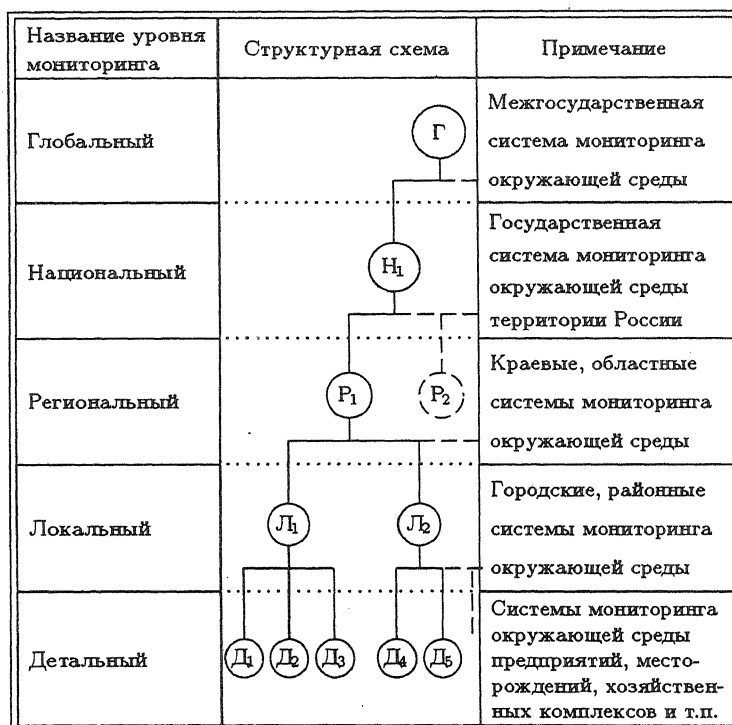


Рис. 10. Структурная схема и соотношение систем мониторинга окружающей среды разных уровней

Система мониторинга окружающей среды имеет наиболее сложное строение как по структуре (рис. 10), так и по содержанию (см. рис. 9). Структурная схема мониторинга окружающей среды, показанная на рис. 10, отражает различные уровни организации мониторинга. Они в свою очередь выделяются по масштабному уровню наблюдений. Низшим иерархическим уровнем является уровень **детального мониторинга** (“элементарного”, по М.А. Шубину) окружающей среды, реализуемого в пределах территорий и масштабов отдельных территорий и масштабов отдельных предприятий, заводов, отдельных инженерных сооружений, хозяйственных комплексов, месторождений или карьеров и т.д. Системы детального мониторинга окружающей среды являются важнейшим звеном в системах более высокого ранга. Их объединение в более крупную сеть (например, в пределах города, района) образует систему мониторинга **локального уровня** (см. рис. 10).

Детальный и локальный мониторинг геологической среды предназначен обеспечить оценку изменений геологической среды под влиянием действующего или проектируемого объекта (или комплекса объектов) соответственно на территории города, района или участка в зоне его ожидаемого воздействия. Он реализуется на стадии проекта, а для действующих объектов, не имеющих должной сети режимных наблюдений, независимо от стадии, по решению соответствующих компетентных органов.

В этом случае на основе разработанной на предпроектной стадии ТЭО программы (для действующих объектов по специальной программе) создается необходимая сеть скважин, створов или площадок для соответствующих режимных наблюдений. Она должна быть опережающей по отношению к строительству объекта, а режимные наблюдения должны начинаться одновременно с началом изысканий, с тем чтобы успеть получить фоновые характеристики, по отношению к которым должны фиксироваться изменения геологической среды, возникающие в связи со строительством и последующей эксплуатацией данного объекта. Соответственно организация сети режимных наблюдений лежит непосредственно на природопользователе (заказчике) и привлекаемой им для проектирования проектной организации.

Локальные системы, в свою очередь, объединяются в еще более крупные — системы **регионального мониторинга** окружающей среды, охватывающие территории в пределах края или области, или в пределах нескольких краев и областей (см. рис. 10). Региональный мониторинг геологической среды предназначен обеспечить оценку изменений геологической среды территорий комплексного антропогенного освоения (республиканских, краевых и областных административных территориальных единиц, крупнейших территориально-производственных комплексов). Он базируется на государственных

источниках информации, как правило, не дающих ответа на весь комплекс природоохранных вопросов. Такой мониторинг в общих чертах соответствует задачам оценки воздействия на геологическую среду (ОВГС) на предпроектной стадии, которая не предусматривает создание специальной региональной сети режимных наблюдений. Основная задача ОВГС на этой стадии — разработка программы совершенствования или создания новой сети режимных наблюдений с учетом ожидаемого воздействия существующих или проектируемых предприятий на различные компоненты геологической среды. Строго говоря, создание и обеспечение функционирования регионального мониторинга геологической среды — дело соответствующих территориальных органов государственного или ведомственного подчинения.

Системы регионального мониторинга окружающей среды объединяются в пределах одного государства в единую национальную (государственную) сеть мониторинга и образуют, таким образом, **национальный уровень** (“мегарегиональный”, по М.А. Шубину) системы мониторинга (см. рис. 10). Системы национального (государственного) уровня мониторинга геологической среды являются необходимой предпосылкой для соблюдения законодательства в области охраны недр и экологии, систематического контроля за состоянием всех компонентов геологической среды, обеспечения эффективной и экологически безопасной инженерно-хозяйственной деятельности. Примером системы национального уровня является создаваемая Федеральная служба России по мониторингу окружающей среды, сеть которой постепенно развивается и совершенствуется. Аналогичные национальные системы есть во многих развитых странах: США, Германии, Франции, Швеции и др.

В зарубежных странах Западной Европы (особенно в Германии, Франции, Великобритании), а также США и Японии действуют национальные (федеральные) службы мониторинга окружающей среды, в рамках которых ведутся наблюдения за всеми компонентами окружающей среды и в том числе — за геологической средой. Так, например, Федеральная служба экологического мониторинга США имеет разветвленную сеть контрольно-информационных центров на территории всей страны. Эта сеть действует уже в течение многих лет в рамках общенациональной программы охраны окружающей среды, финансируемой из федерального бюджета США. Служба является госбюджетной организацией, а ее работа направляется, координируется и контролируется Рестонским научным центром (шт. Вирджиния), который осуществляет все научно-методическое руководство организации и функционирования системы мониторинга. Наблюдения ведутся за всеми элементами природной среды, которые подвержены тем или иным изменениям в результате хозяйственной деятельности человека. Обработку всех резуль-

татов наблюдений проводят специализированные службы, каждая из которых занимается контролем за изменением определенных групп элементов окружающей среды, достаточно близко связанных между собой.

Принципиальная схема функционирования национального экологического мониторинга США следующая. С установленной периодичностью в автоматическом режиме производится снятие параметров состояния и свойств тех или иных элементов окружающей среды одновременно на всей территории США. Это позволяет при обработке данных выявить влияние на них глобальных факторов, таких как климатические, эндогенные, крупные природные и техногенные катастрофы и т.п. Информация поступает в региональные центры обработки (региональный уровень мониторинга), обслуживающие один или несколько штатов, и накапливается в соответствующих банках данных, объединенных в единую информационно-поисковую систему. В результате на любой момент времени может быть оперативно получена полная картина состояния в стране окружающей среды как в целом, так и отдельных ее составных частей, и оперативно выявлены те негативные процессы и тенденции, которые по отдельным показателям или их группам начинают проявляться в том или ином регионе. Поскольку вся система мониторинга автоматизирована, обработанная и обобщенная информация выдается в виде компьютерных графических материалов (цветных карт, схем, разрезов, диаграмм, графиков и т.п.), а ее анализ осуществляется специалистами-экологами применительно к конкретным поставленным задачам охраны окружающей среды.

Выявленные заранее и своевременно таким образом неблагоприятные и тем более опасные изменения и тенденции дают возможность четко фиксировать их пространственные ореалы, установить причины и разработать рекомендации по организации защитных мероприятий. Службы мониторинга США регулярно информируют федеральные власти страны и каждого штата о состоянии природной среды подведомственных им территорий, которые в случае необходимости могут применить к любому нарушителю правил эксплуатации инженерных сооружений, технологии производства или других природоохранных требований к хозяйственной деятельности жесткие экономические или судебные санкции.

В качестве примера можно рассмотреть, как в США осуществляется мониторинг качества подземных и поверхностных вод штатов Вирджиния и Мэриленд, который, будучи частью федеральной системы, в принципе является типичным по своей функциональной структуре, методам сбора и обработки информации для всей страны. В рамках этого мониторинга наблюдения ведутся за химизмом,

а также органической, бактериологической и радиационной загрязненностью эксплуатируемых водоносных горизонтов подземных вод и поверхностных водотоков и водоемов, включая реки, озера и водохранилища. Всех постов наблюдения на территории этих двух штатов насчитывается несколько сотен. Ежемесячно информация из них поступает в Рестон, где находится научный центр, выполняющий не только федеральные, но и региональные функции. Запись всех результатов наблюдений, их передачу по телекоммуникативным каналам и обработку производят в автоматическом режиме и выдают в виде карт качества подземных и поверхностных вод по каждому из 20 оцениваемых параметров. На участках, где концентрация тех или иных вредных примесей в воде превышает ПДК, ореалы их распространения изображают в изолиниях. Все пункты наблюдения снабжены системой аварийного оповещения, она срабатывает сразу же после фиксации превышения ПДК по какому-либо параметру. При центре имеются оперативные группы “быстрого реагирования”, которые после получения аварийного сигнала немедленно выезжают на место для выявления источника загрязнения и выработки предложений по проведению тех или иных защитных мероприятий. Каждый конкретный случай загрязнения воды, если он не носит случайного характера, оформляют в виде доклада с анализом его причин и рекомендациями по защитным мерам. Доклад направляют непосредственно виновнику загрязнения (организации, фирме, частному лицу), а также властям штата. Как правило, положение немедленно исправляет сам нарушитель, нанеся ущерб окружающей среде, без вмешательства властей, так как в противном случае нарушителю грозят очень крупные штрафы, которые взыскиваются в федеральный бюджет в судебном порядке.

Наряду с оперативной работой федеральная служба мониторинга США участвует совместно с другими организациями в разработке и контроле за реализацией долговременных программ улучшения качества воды как подземных водоисточников, так и поверхностных водоемов, которым наносился ущерб в течение длительного времени в прошлом в результате загрязнения промышленными и бытовыми стоками, утечек из хвостохранилищ, просачивания атмосферных осадков через отвалы и терриконы горнодобывающей и горнорудной промышленности и т.п. Такие программы финансируются частично за счет государственных бюджетных ассигнований (преимущественно исследовательская часть) и средств фирм, ответственных за нанесенный природе ущерб. В целом сложившийся в штатах Вирджиния и Мэриленд мониторинг демонстрирует высокую эффективность природоохранных мероприятий.

В рамках экологической программы ООН поставлена задача объединения национальных систем мониторинга в единую межгосударственную сеть — “Глобальную систему мониторинга окружающей среды” (ГСМОС). Это высший глобальный уровень организации системы мониторинга. Ее назначение — осуществление мониторинга за изменениями в окружающей среде на Земле в целом, в глобальном масштабе. Глобальный мониторинг — это система слежения за состоянием и прогнозирование возможных изменений общемировых процессов и явлений, включая антропогенные воздействия на биосферу в целом. Пока создание такой системы в полном объеме является задачей будущего, так как многие государства не имеют пока собственных национальных систем. Глобальная система мониторинга окружающей среды призвана решать общечеловеческие экологические проблемы в рамках всей Земли, такие как глобальное потепление климата, проблема сохранения озонового слоя, землетрясения, сохранение лесов, глобальное опустынивание и эрозия почв, наводнения, засухи и др.

Системы мониторинга геологической среды входят составной частью в Федеральную службу России по мониторингу окружающей среды наряду с мониторингом биосферы, атмосферы, гидросферы и другими подсистемами. Для системы мониторинга геологической среды также могут быть выделены перечисленные выше уровни от детального до национального и глобального (см. рис. 10). Однако пока в России единая национальная система мониторинга геологической среды отсутствует: у нас созданы (и то, не по всем регионам) лишь отдельные региональные системы, опирающиеся на разрозненные локальные и детальные системы мониторинга геологической среды. Формирование единой национальной системы мониторинга России является одной из задач Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации, Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, а также республиканских, областных и краевых Комитетов по охране природы Российской Федерации. Кроме того, в создании единой федеральной системы мониторинга окружающей среды заинтересована и Межведомственная комиссия Совета Безопасности Российской Федерации по экологической безопасности, образованная Указом Президента Российской Федерации N 812 от 25 апреля 1994 г.

Как указывалось выше, для различных объектов геологической среды выделяются отдельные системы мониторинга: литомониторинг (в узком смысле, как мониторинг горных пород), гидрогеоэкологический мониторинг (по В.А. Мироненко) или мониторинг подземных вод, почвенный мониторинг. К сожалению, в России для

отдельных перечисленных видов мониторинга составляются свои организационные структуры и разрабатываются свои концептуальные программы развития, например, концепция мониторинга подземных вод России. Такой подход, обусловленный в общем-то ведомственными, а не государственными интересами, является принципиально неправильным, по крайней мере, по двум позициям: во-первых, создание отдельных невзаимодействующих систем мониторинга по разным компонентам геологической среды (породам, почвам, подземным водам и т.д.) обойдется государству в несколько раз дороже по сравнению с единой национальной комплексной системой; во-вторых, отделять в системе наблюдений один компонент от другого часто принципиально неверно, а в ряде случаев чревато серьезными ошибками. Поэтому разработка государственной концепции мониторинга должна вестись по пути создания единой национальной комплексной системы мониторинга геологической среды, работающей по единому методическому унифицированному подходу, а не по пути простого суммирования разрозненных систем мониторинга отдельных ее компонентов — подземных вод, почв, горных пород и т.д. Концептуальная увязка покомпонентных систем мониторинга должна проводиться при создании комплексной системы мониторинга до создания отдельных покомпонентных систем, а не наоборот.

2.3. НАЗНАЧЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ МОНИТОРИНГА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Исходя из приведенного выше определения мониторинга геологической среды его назначением, главной целью является установление тенденций развития геологической среды или ее части в пределах природно-технической системы и на основе этого — принятие управляющих решений по оптимизации функционирования ПТС.

Согласно В.К. Епишину и В.Т. Трофимову, А.М. Шубину назначение мониторинга геологической среды конкретизируется в его целевой программе (см. гл. 8). В целевую программу мониторинга геологической среды включаются наблюдения не только за техногенными, но и за природными изменениями состояния геологической среды, прежде всего за изменениями, происходящими в результате тех экзогенных геологических процессов, характеристическое время которых сопоставимо с периодом жизни ПТС. В программу также входит и последующий генетический анализ изменений геологической среды в целях выделения техногенной и природной компоненты изменений. Кроме того, целью мониторинга помимо наблюдений и прогноза должны быть оценка состояния геологической среды и управление ею, так как участие в управлении неблагоприятными

геологическими процессами традиционно входит в задачи инженерной геологии (рекомендации по борьбе с неблагоприятными процессами, геологический контроль при эксплуатации сооружений и т.д.).

Уточняя эти положения, можно заключить, что сам процесс наблюдений в мониторинге не является его непосредственной целью: наблюдения, последующий их анализ и оценка это всего лишь средства для достижения главных целей мониторинга геологической среды — разработки прогноза развития геологической среды и принятие на их основе рекомендаций и решений по управлению рассматриваемой природно-технической системой. Для геологической среды, испытывающей в результате техногенной нагрузки огромные негативные изменения, необходимо постоянное наблюдение чтобы выявить причины изменений и наметить пути их устранения.

Система мониторинга геологической среды в целом является важным элементом и инструментом оптимизации различных этапов хозяйствования: планирования, строительства, эксплуатации и управления ПТС. Использование данных мониторинга, полученных в ходе режимных наблюдений, в сочетании с информацией о геологической среде в целом и видах техногенного воздействия позволяет перейти к созданию прогнозных моделей геологической среды, с помощью которых можно рассмотреть различные альтернативы воздействия на среду и выявить наиболее оптимальные решения эколого-геологических задач. Полученная информация может быть использована и для того, чтобы оперативно устанавливать источники ущерба и негативного воздействия, выявлять критические факторы воздействия, консервативные и лабильные компоненты геологической среды и меры по ее защите, определять допустимые техногенные нагрузки на геологическую среду, оценивать эффективность и целесообразность применения различных форм строительства и других видов освоения территории и т.д.

Данные мониторинга геологической среды должны использоваться для контроля (проверки состояния) геологической среды при сопоставлении оценок с системой стандартных критериев и показателей. Последними могут служить показатели предельно допустимых техногенных нагрузок (в том числе предельно допустимые осадки, крены и перекосы, дифференцированные для зданий и сооружений разного типа), сопоставленные показатели средних (фоновых) и аномальных (предельно допустимых) содержаний токсичных химических элементов и соединений в почвах, грунтах и подземных водах (см. разд. 1.5); показатели критических уровней подземных вод и т.п.

Помимо управленческих мониторинг может решать и исследовательские задачи. Необходимость в мониторинге возникает всякий раз, когда требуется проверка какой-либо теоретической модели или

гипотезы. В этом отношении мониторинг геологической среды также может использоваться для решения ряда исследовательских задач, связанных с рациональным использованием геологической среды, эколого-геологическими проблемами и т.п. С другой стороны, определение исследовательских задач позволяет свести к минимуму или уменьшить круг параметров, подлежащих контролю, что важно из-за большой стоимости системы наблюдений в мониторинге. Таким образом, мониторинг геологической среды призван решать задачи двух типов: управленческие и исследовательские.

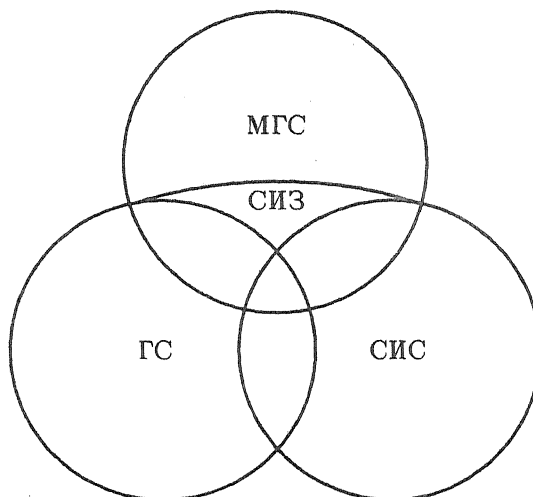


Рис. 11. Соотношение мониторинга, системы инженерных сооружений и геологической среды:

ГС — геологическая среда; СИС — система инженерных сооружений; МГС — мониторинг геологической среды; СИЗ — система инженерной защиты (по В.К.Епишину, В.Т.Трофимову, 1985, с изменениями)

Каково же его соотношение с ПТС, с инженерными сооружениями? Схематически это соотношение показано в виде структурной схемы на рис. 11. Из этой схемы следует, что структурно мониторинг геологической среды (МГС) включает в себя часть геологической среды (ГС), часть зоны влияния системы инженерных сооружений (СИС) на геологическую среду и часть самой СИС. Согласно В.К. Епишину и В.Т. Трофимову, в МГС также входит и система инженерной (технологической, агролесомелиоративной и др.) защиты геологической среды в форме уже осуществленных защитных мероприятий, выполненных по инженерно-геологическим рекомендациям строительными, эксплуатационными и другими организациями.

По Г.К. Бондарик (1990), с позиций содержательных мониторинг представляет собой систему наблюдений за режимом функциониро-

вания и прогноза функционирования данной ПТС. Он включает в себя подсистему режимных наблюдений, позволяющую получать оперативную информацию о состоянии компонентов ПТС в момент проведения наблюдений и о процессах их взаимодействия и подсистему прогноза, целевое назначение которой заключается в накоплении, переработке и выдаче информации о текущем и будущем состоянии ПТС. Эта информация используется для выработки сигналов управления.

Следует подчеркнуть, что система мониторинга геологической среды не сводится к режимным инженерно-геологическим наблюдениям, а отличаясь от них принципиально, включает их в себя составной частью. Режимные наблюдения — это лишь одна из компонент мониторинга геологической среды. Наиболее существенные отличия мониторинга геологической среды от режимных инженерно-геологических наблюдений сводятся к следующему:

1) мониторинг характеризуется целенаправленностью: наличием целевой программы и выходом на конечную цель — управлением ПТС;

2) мониторинг, в отличие от режимных наблюдений, характеризуется комплексностью наблюдений, объектов, целей и используемых методик;

3) мониторинг геологической среды характеризуется системностью, изучением взаимодействий, происходящих в геологической среде по прямым и обратным связям;

4) результаты наблюдений в ходе мониторинга хранятся в автоматизированных информационных системах, они постоянно обновляются и дополняются.

Таким образом, суть и содержание мониторинга геологической среды составляет система целенаправленной инженерно-геологической и инженерной деятельности, состоящей из упорядоченного набора процедур, организованного в циклы: наблюдений (H_1), оценки состояния среды по результатам наблюдений (O_1), прогноза развития геологической среды (P_1) и управления (Y_1). Затем наблюдения дополняются новыми данными, на новом цикле, и далее циклы повторяются на новом временном отрезке H_2, O_2, P_2, Y_2 и т.д.

Отсюда следует общая схема функционирования мониторинга геологической среды во времени, показанная на рис. 12. На этой схеме римскими цифрами указаны номера соответствующих циклов мониторинга, начинающихся и заканчивающихся в определенные временные интервалы по спирали. Параллельно оси времени на функциональной схеме выделяются соответствующие функциональные цепи мониторинга, отражающие его содержательную часть: цепь последовательных наблюдений (H_1, H_2, H_3 и т.д.), цепь последовательных оценок состояния геологической среды по результатам

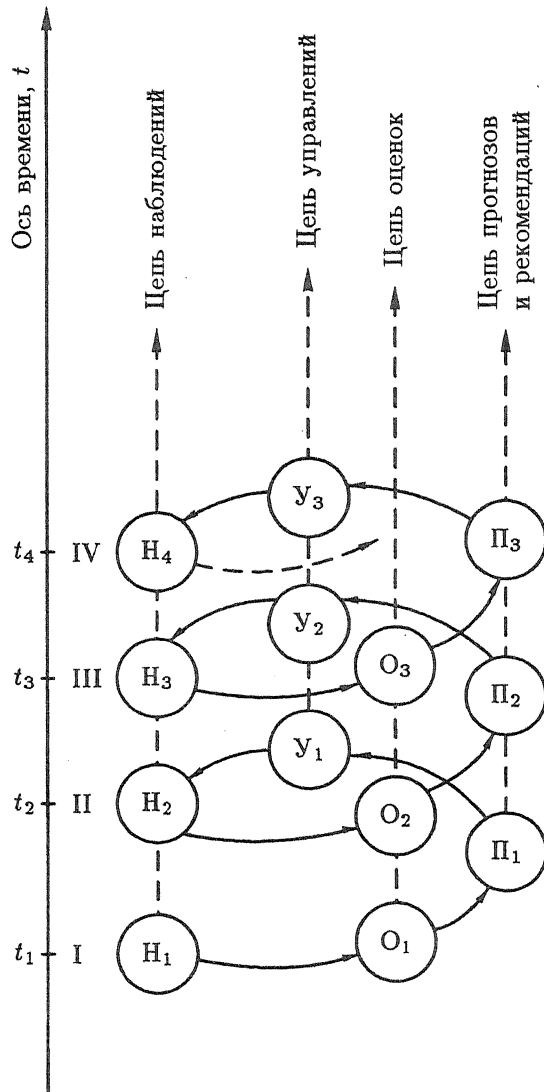


Рис. 12. Схема функционирования мониторинга геологической среды во времени:

H_i — наблюдения; O_i — оценка наблюдений; Π_i — прогноз и рекомендации; Y_i — управляющие решения; римские цифры — номера циклов

наблюдений (O_1, O_2, O_3 и т.д.), цепь последовательных прогнозов и прогнозных рекомендаций, со временем все более точных и надежных (Π_1, Π_2, Π_3 и т.д.), и, наконец, цепь последовательных управляющих решений и рекомендаций по управлению данной ПТС,

становящихся со временем все более оптимальными.

Таким образом, мониторинг геологической среды представляет собой сложно построенную, циклически функционирующую и развивающуюся во времени по спирали постоянно действующую систему.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ГЛ. 2

1. Что такое мониторинг окружающей среды? Какие компоненты являются предметом его наблюдения?
2. Какие существуют виды мониторинга? По каким признакам они выделяются?
3. Что называется мониторингом геологической среды?
4. Тождественны ли понятия “литомониторинг” и “мониторинг геологической среды”?
5. В чем суть понятия “система мониторинга геологической среды”?
6. Какие выделяются уровни систем мониторинга? Каков принцип их выделения?
7. Каково назначение национальной системы мониторинга окружающей среды?
8. Каковы назначение и цель мониторинга геологической среды?
9. Что составляет содержание мониторинга геологической среды?
10. В чем состоят принципиальные различия режимных инженерно-геологических наблюдений и мониторинга геологической среды?
11. Как происходит функционирование системы мониторинга геологической среды во времени?

Глава 3

СТРУКТУРА МОНИТОРИНГА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

3.1. ОБЩАЯ СТРУКТУРА МОНИТОРИНГА

Структура мониторинга геологической среды априори индивидуальна, подлежит специальной разработке в каждом конкретном случае и пока не поддается жесткой регламентации за исключением отдельных моментов. Создание мониторинга — это творческая разработка, основывающаяся на определенных требованиях и использующая весь арсенал имеющихся методических разработок, как общих, так и ведомственных.

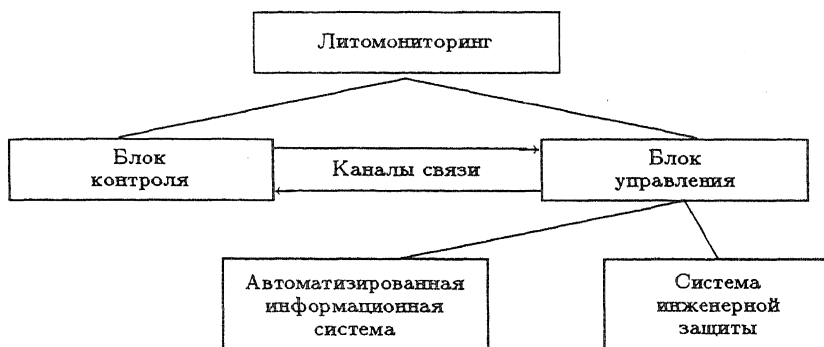


Рис. 13. Структурная схема мониторинга геологической среды (по В.К. Епишину и В.Т. Трофимову, 1985)

В общем виде, согласно В.К. Епишину и В.Т. Трофимову (1985), структурную схему мониторинга геологической среды можно представить, как показано на рис. 13. Из этой схемы следует, что ее основными частями являются блок контроля и блок управления, связанные между собой каналами передачи информации, а также автоматизированная информационная система (АИС) и система инженерной защиты. Эта схема отражает и функциональную структуру мониторинга, которую также можно представить в виде сложной макросистемы, состоящей из нескольких систем различного назначения



Рис. 14. Общая структура мониторинга геологической среды

и функций (рис. 14). Некоторые из этих систем уже были рассмотрены выше — функциональная система (см. рис. 12) и структура иерархического построения систем мониторинга разного уровня (см.

рис. 10). Основными в структуре мониторинга геологической среды являются системы: функциональная, иерархическая, объектов мониторинга, производственных работ, научно-методических разработок и технического обеспечения мониторинга.

Не останавливаясь на характеристике рассмотренных выше функциональной и иерархической систем, перейдем к характеристике других элементов структуры мониторинга — системы объектов мониторинга геологической среды (см. рис. 14). В этой системе объединяются объекты наблюдений и объекты изучения мониторинга. Основными среди них являются главные компоненты геологической среды, рассмотренные выше: почвы, горные породы и искусственные грунты; рельеф территории; подземные воды; геологические и инженерно-геологические процессы и явления. В соответствии с этими объектами (элементами) могут выделяться подсистемы, занимающиеся мониторингом лишь данного элемента геологической среды или его части: мониторинг подземных вод (гидрогеологический мониторинг), либо геоморфологический, либо экзогенных геологических процессов, либо почвенный и др.

Внутри этих подсистем могут выделяться (в зависимости от целевого назначения) более узкие подподсистемы мониторинга. Например, в подсистеме гидрогеологического мониторинга могут выделяться подподсистемы: 1) загрязнения подземных вод; 2) истощения (пополнения) запасов подземных вод; 3) подтопления (осушения) территорий; 4) фоновый режим подземных вод и т.д. В подсистеме мониторинга экзогенных геологических процессов могут выделяться подподсистемы, направленные на изучение конкретных процессов: 1) оползнеобразования; 2) формирования селей; 3) абразии; 4) ветровой эрозии; 5) заболачивания и др.

Важно подчеркнуть, что все элементы геологической среды взаимосвязаны и вычленять при наблюдениях какой-либо один элемент из этой системы, не рассматривая другие, методически неверно. Поэтому в идеальном варианте мониторинг геологической среды должен быть комплексным, охватывать не отдельные части, а все элементы геологической среды, все его подсистемы и подподсистемы должны быть связаны.

Следующим важным элементом структуры мониторинга геологической среды является система производственных работ (см. рис. 14), составляющая производственную базу мониторинга. Эта система объединяет в себе различные источники получения информации о геологической среде. В нее входят все виды работ, которые используются при организации и проведении мониторинга: различные виды инженерно-геологических, гидрогеологических, геокриологических, геофизических и геоморфологических наблюдений (рекогносцировочные, режимные, оценочные и т.д.); все виды съемочных

работ, используемые в практике инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических исследований; различные работы по организации систем инженерной защиты; всевозможное моделирование геологической среды, ее элементов и ПТС (натурное, имитационное, математическое и др.). Таким образом, в производственную базу мониторинга геологической среды входит практически весь арсенал методов, используемых в инженерной геологии, гидрогеологии и геокриологии.

Другой важнейший элемент структуры мониторинга геологической среды составляет система **научно-методических разработок** (см. рис. 14). Назначение этой системы — разработка всего комплекса методик, используемых при планировании, организации и функционировании мониторинга, при проведении производственных работ, при анализе и оценке результатов наблюдений и, наконец, при прогнозировании и выдаче управляющих решений. Эта система является “мозговым центром” всего мониторинга, от того, насколько правильно будут составлены программы наблюдений, насколько эффективны и корректны используемые методики и отдельные методы, от этого будет зависеть в конечном итоге результат работы всей системы мониторинга. Система научно-методических разработок мониторинга геологической среды составляется специалистами: инженерами-геологами, гидрогеологами и геокриологами (для районов развития многолетнемерзлых пород), имеющими эколого-геологическую подготовку, в тесной кооперации их со специалистами смежных областей (также имеющими эколого-геологическую подготовку): геохимиками, геофизиками, почвоведом и др.

И, наконец, последним элементом структуры мониторинга геологической среды является система **технического обеспечения** (см. рис. 14). Эта система представляет собой техническую базу, с помощью которой осуществляется реализация всего мониторинга геологической среды. В техническое обеспечение входит: аппаратура для наблюдений и сбора первичной информации о состоянии геологической среды (всевозможные датчики, индикаторы, приборы для наблюдений); технические средства для полевых съемочных инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических исследований (буровые установки, передвижные инженерно-геологические и гидрогеологические лаборатории, передвижные геофизические станции, приборы для полевых испытаний и т.д.); автотранспорт; лабораторное оборудование для проведения лабораторных инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических исследований; вычислительные средства (ЭВМ) и средства связи и коммуникаций; оргтехника.

Техническое обеспечение представляет собой наиболее дорогостоящую часть мониторинга, поэтому оно должно формироваться наиболее оптимальным образом, без излишних затрат и дублирования. Кроме того, следует иметь в виду, что создание систем мониторинга геологической среды должно опираться на уже сложившуюся в России сеть режимных инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических наблюдений, на системы инженерной защиты, на имеющуюся техническую базу различных изыскательских и проектных инженерно — геологических организаций и предприятий, в том числе ТИСИЗов.

3.2. СИСТЕМА АИС

Основу организационной структуры мониторинга геологической среды (рис. 15) составляет так называемая **автоматизированная информационная система (АИС)**, которая создается на базе ЭВМ. С внедрением в инженерно-геологические исследования персональных компьютеров появилась возможность создания АИС высокого уровня и эффективности. Задачами АИС является: хранение и поиск режимной информации о состоянии геологической среды и ПТС; целенаправленная постоянная обработка и оценка информации; выполнение перманентных прогнозов развития и состояния геологической среды; решение оптимизационных задач по управлению геологической средой.

Как видно из этого перечня, система АИС призвана обеспечить решение всех основных задач, связанных с получением и обработкой информации, получаемой в ходе мониторинга геологической среды. Отсюда следует и сама структура АИС, показанная на рис. 15. Автоматизированная информационная система мониторинга геологической среды, по В.К. Епишину и В.Т. Трофимову (1985), состоит из четырех основных взаимосвязанных блоков, каждый из которых направлен на решение одной из перечисленных выше задач.

Первый блок АИС составляет **автоматизированная информационно-поисковая система (АИПС)**, которая направлена на решение первой задачи. Эта система по существу представляет собой базу данных, реализованную с помощью ЭВМ. В систему АИПС из наблюдательной сети поступают все первичные данные о геологической среде территории или объекта мониторинга (в том числе и данные режимных наблюдений), они здесь накапливаются в банке данных, предварительно обрабатываются, сортируются и используются затем во всех последующих операциях по оценке и прогнозу состояния геологической среды.

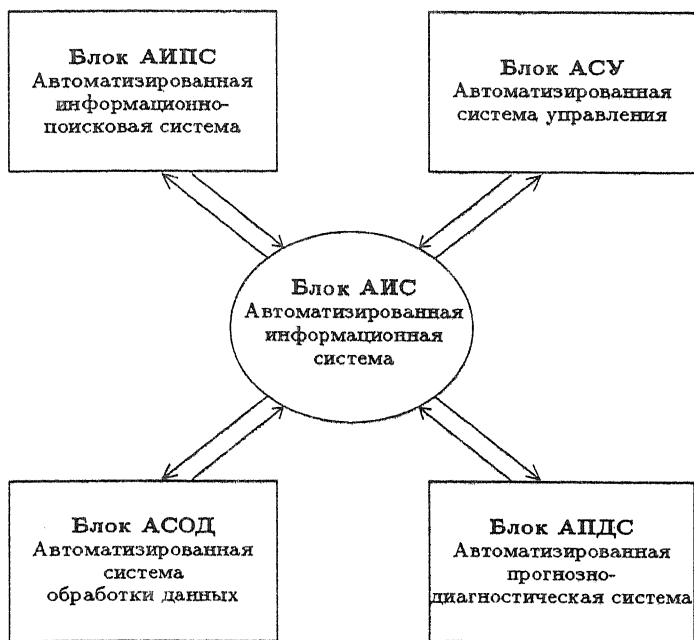


Рис. 15. Принципиальная схема структуры автоматизированной информационной системы (АИС) мониторинга геологической среды

Вторым блоком АИС является **автоматизированная система обработки данных (АСОД)**, направленная на решение второй задачи — целенаправленную обработку и оценку поступающей информации. Этот блок реализует функцию количественной и качественной обработки всей информации по мониторингу геологической среды и тоже осуществляется с помощью ЭВМ.

Третий блок АИС представляет собой **автоматизированную прогнозно-диагностическую систему (АПДС)**, направленную на решение третьей задачи. С помощью этого блока решаются все вопросы по составлению перманентных (т.е. непрерывно продолжающихся, повторяющихся) прогнозов в соответствии с функциональной схемой мониторинга геологической среды. Этот блок также реализуется с помощью ЭВМ. Важным компонентом этого блока является постоянно действующая модель (ПДМ).

Четвертый блок АИС составляет **автоматизированная система управления (АСУ)**, направленная на решение задач по управлению ПТС и разработку рекомендаций. Этот блок осуществляет как бы конечную цель и функцию мониторинга геологической среды и чрезвычайно важен. Он также практически реализуется с помощью ЭВМ.

Все четыре блока АИС связаны друг с другом и образуют единую функционирующую систему. Основным вопросом при организации АИС является ее информационное, техническое и математическое обеспечение, рассмотренное в работах В.К. Епишина, В.Т. Трофимова, М.А. Шубина, В.Н. Экзарьяна и др.

Информационное инженерно-геологическое обеспечение АИС составляет всесторонняя информация о ПТС в целом. Это наиболее существенная часть информационного обеспечения, составляющая содержательную основу, хранящуюся в банке данных для ее последующего анализа, обработки, оценки, многоцелевого поиска, пополнения и выдачи. Эта информация двоякого рода: с одной стороны, о геологической среде и ее компонентах; с другой — о технических системах и оказываемых ими техногенных воздействиях. Данные собираются как из наблюдательных сетей мониторинга геологической среды, так и из сторонних источников (административных органов, проектных и производственных организаций, геологических и производственных фондов, научных библиотек, архивов, метеостанций, СЭС и др.).

Поступающая в АИПС инженерно-геологическая информация должна обладать рядом признаков, устанавливающих ее качество:

репрезентативностью, т.е. отражать самые существенные черты строения и свойств объектов геологической среды;

конструктивностью, т.е. быть сопоставимой с оценками остальных природных и техногенных факторов, пригодной для интегральных оценок и расчетов;

экономичностью, которая выражается в сопоставлении стоимости получения оценок и общей стоимости составления системы мониторинга и ее реализации;

рациональностью, определяемой как минимальный объем затрат труда, времени и средств на получение единицы информации.

Поступающая в АИС любая информация должна быть **унифицирована**, т.е. приведена в вид, удобный для ее дальнейшего использования в базе данных. Это чрезвычайно важный вопрос, особенно при создании разветвленных детальных и локальных сетей мониторинга. Для унификации моделей входных и выходных документов системы мониторинга, а также унификации логической структуры баз данных в АИС разработчикам АИС следует придерживаться единых методических положений, а также общих рекомендаций по информационному обеспечению, например, выработанных в ВИЭМС при создании отраслевой интегрированной системы «АСУ-Геология».

Структура входных документов в системе мониторинга определяется объектом наблюдений, уровнем системы и другими факторами. Однако при создании национальной и региональных сетей

мониторинга геологической среды ряд этих документов в АИС должен быть стандартизован. При этом необходима разработка единой формы документов — паспорта свойств грунта, скважины, массива, территории и т.п. В таких паспортах каждый из показателей записывается строго на свое место и кодируется для последующего ввода и использования в ЭВМ. Формы паспортов должны быть едиными для всей системы мониторинга. При этом должны быть решены вопросы о способах отражения тех или иных показателей, единицах их измерения, интервалах значений, точности показателей и т.п. Такой же круг вопросов решается при создании базы данных в АИС и для выходных документов.

Обычно структура базы данных в АИС мониторинга геологической среды имеет три уровня, соответствующих иерархии изучаемых объектов геологической среды. Первый, детальный уровень содержит первичную информацию о горной породе или грунте (инженерно-геологическом элементе), которая заносится в паспорт. Паспорт содержит все необходимые данные о грунте, включая его местонахождение, возраст, генезис и подробную характеристику состава, строения и свойств. В качестве примера на рис. 16 приведена форма паспорта глинистого грунта. Все его клетки кодируются для ввода в компьютер. При сборе режимной информации для каждого грунта собираются сведения об изменении состава и свойств во времени. При этом формируется временной массив данных. Такие паспорта составляются на все виды и разновидности (инженерно-геологические элементы) грунтов рассматриваемой территории и составляют основу детального уровня базы данных. В АИС должен быть предусмотрен вывод на печать или экран дисплея любого паспорта на любой момент времени по запросу пользователя.

Второй, локальный уровень базы данных в АИС содержит информацию локального характера о геологической среде района мониторинга на уровне массива. Это прежде всего информация о строении разреза по скважине. Формой паспорта локального уровня базы данных является инженерно-геологическая, гидрогеологическая или геокриологическая колонка стандартного содержания. Каждая такая колонка содержит сведения о ее местонахождении (для скважин — адрес, отметки абс. высот, даты проходки и т.п.), литологическом и петрографическом составе пород разреза, индексы их возраста и генезиса, сведения о подземных водах, мощности пород и при необходимости может быть дополнена свойствами для каждого ИГЭ на основе базы данных первого уровня. При режимных наблюдениях колонки отражают состояние разреза на данный момент времени. В АИС должно быть предусмотрено автоматизированное графическое построение любой колонки для любого заданного момента времени в произвольном масштабе.

Естественная плотность ρ , г/см ³	Плотн. твердой фазы ρ_s , г/см ³	Плотн. скелета ρ_d , г/см ³	Пористость n , %	Коэфф. пористости e	Естественная влажность W , %	Естественная влажность (объемная) $W_{об1}$, %	Коэфф. водонасыщ. S_r	Гигроск. влажность W_g , %	Максим. гигроск. влажность W_{mg} , %
Максимал. молекуляр. влажность $W_{тмсл}$, %	Нижний предел пластич. W_p , %	Нижний предел пластич. W_l , %	Число пластич. I_p , %	Показатель пластичности I_p	Полная влажность $W_{ест}$, %	Влажность свободного набухания $W_{нсл}$, %	Показатель коллоидной активности K_d	Показатель гидрофильн. K_g	Емкость обмена E_k , мг-экв/100 г
Удельная поверхность S_0 , м ² /г	Величина (степень) набухания ϵ_{sw} , %	Давление набухания $P_{нб}$, МПа	Коэфф. фильтрации K_f , м/сут	Объемная теплоемк. C_p , Дж/м ³ ·К	Коэфф. фильтрации λ , Вт/м·К	Коэфф. температур. α , м/с	Угол внутреннего трения φ , град	Коэфф. внутреннего трения $f' = tg \varphi$	Удельное сцепление C , МПа
Коэфф. сжимаем. σ_0 , МПа	Компрес. модуль деформации $E_{0к}$, МПа	Модуль общей деформации $E_{0л}$, МПа	Модуль упругости статического зондирув. E_y , МПа	Коэфф. объемной пористой среды μ	Коэфф. Пуассона μ	Коэфф. бокового распора $f = \frac{\sigma_x}{\sigma_z}$	Скорость продольных волн V_p , м/с	Скорость поперечных волн V_s , м/с	Прочность на 1-осное сжатие R_c , МПа
Предел текучести при сжатии R_T , МПа	Прочность на разрыв R_p , МПа	Удельное сопротивление статическ. зондирув. q_s , МПа	Удельное сопротивление статическ. зондирув. q_g , МПа	Динамический модуль упругости $E_{дг}$, МПа	Удельное электрич. сопротивление R_p , ом·м	Коэфф. трения по поверхности f_y, f	Категории		
							разработаны	испытаны	по бурности (для ударно-канат. бур.)
Коэфф. удельного упругого отпора K_0 , кг/см ³	Слабеек. коэфф. потерь C_3 , кг/см ³	Коэфф. затухания (потерь)	Преоблад. период сейсмич. колебаний массива	Максим. амплитуда колебаний A	Модуль сдвига G , МПа				

Рис. 16. Форма паспорта глинистого грунта

Третий, региональный уровень базы данных АИС мониторинга геологической среды содержит сведения регионального характера: рельефе региона, его структурно-тектоническом положении, климате, почвенно-ландшафтные характеристики, распределении техногенной нагрузки и т.п. Основой информационного обеспечения базы данных регионального уровня служит система локального уровня, что позволяет анализом и сопоставлением локальной информации на региональном уровне для любого момента времени автоматически строить любые разрезы, проводить трехмерную реконструкцию геологических и гидрогеологических структур, строить соответствующие карты мощностей, загрязнений и т.п.

Кроме того, в базе данных АИС должна храниться и накапливаться информация, не относящаяся непосредственно к геологической среде района мониторинга, но которая так или иначе может быть необходимой для анализа природных и техногенных изменений, например:

- природно-территориальная характеристика района;
- гидрометеорологические условия района (при необходимости — данные режимных метеорологических наблюдений);
- гидрологическая характеристика района (данные о поверхностных водных бассейнах и водотоках, в том числе режимные);
- ландшафтная характеристика района (в том числе ландшафтно-геохимическая, а также данные ландшафтно-индикационной съемки, АФС за различные временные периоды);
- административно-территориальная характеристика района;
- подробная информация о техногенной нагрузке (виды воздействий, характеристика источников техногенных воздействий, включая экологические паспорта предприятий, режим их работы, характер выпускаемой продукции и др.).

Все перечисленные информационные блоки составляют самостоятельные части базы данных в АИПС. Так же, как и в предыдущих, форма представления информации в этих блоках должна быть унифицирована и иметь возможность формировать временной ряд.

Первичная информация поступает в АИПС по так называемым информационным каналам связи, принципиальная схема которого показана на рис. 17.

Начальным звеном в информационном канале связи являются приемные устройства — датчики разной конструкции и функционального назначения, с помощью которых в каждой точке наблюдений системы пунктов получения информации (СППИНФ) мониторинга собирается непосредственная первичная натурная информация о геологической среде и ее элементах. В качестве приемных устройств наиболее целесообразно использовать специальную геофизическую аппаратуру, предназначенную для непрерывного слежения

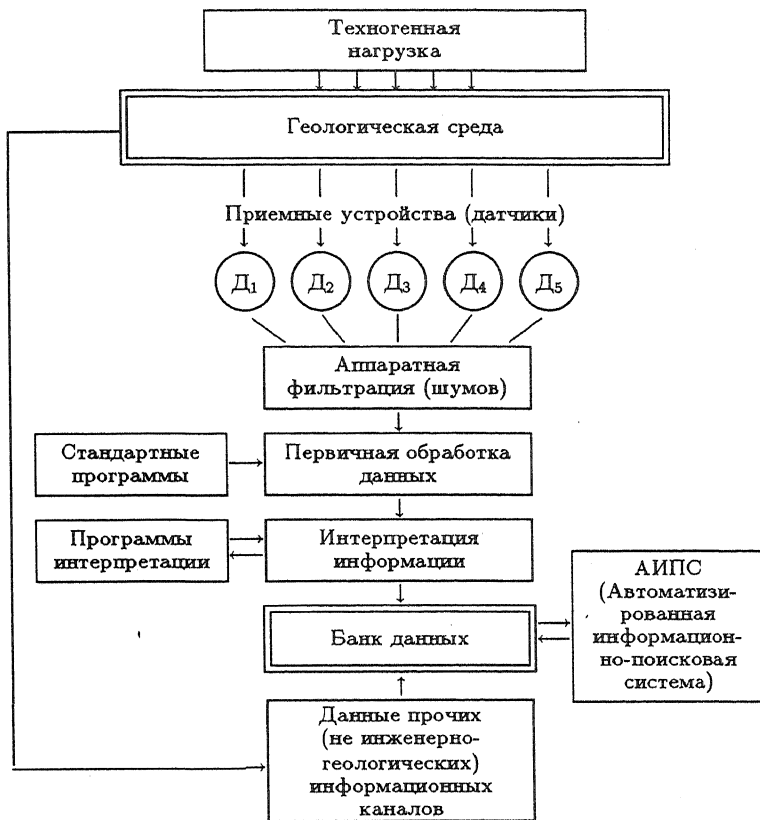


Рис. 17. Схема информационного канала связи в системе мониторинга геологической среды

за геологическими объектами, в том числе датчики и устройства, используемые в системе режимных наблюдений.

Из приемного устройства (см. рис. 17) информация фильтруется, т.е. проходит аппаратную фильтрацию шумов, и затем подвергается первичной обработке с помощью различных стандартных программ (кодируется, отцифровывается и т.д.) на ЭВМ. Для этого используются различные процессорные устройства, обеспечивающие сопряжение датчиков информации с ЭВМ.

После первичной обработки данных проводится интерпретация информации на ЭВМ с помощью программ интерпретации. Их структура зависит от конкретного набора первичной информации о состоянии геологической среды. Интерпретация информации — наиболее сложный процесс в канале связи. Программы интерпретации для ЭВМ строятся на разных принципах, чаще всего на принципе итерации — последовательного приближения к оптимальному решению

путем циклического “прогона” с задаваемым шагом итерации. После этого информация попадает в банк данных, где накапливается и используется для последующей обработки. Банк данных в АИС формируется и по другим каналам (см. рис. 17), т.е. с использованием всевозможных геологических, геоморфологических, гидрогеологических, геофизических, инженерно-геологических, геокриологических, технологических данных и др.

Техническое обеспечение непосредственно АИС представляет собой комплекс аппаратных средств для хранения и обработки информации, реализуемых на базе различных персональных компьютеров, а также технические устройства информационных сетей и периферийные устройства. Основу технического обеспечения АИС составляют различные компьютеры.

В настоящее время в нашей стране чаще всего используются компьютеры DELL, а также IBM PC (на основе Intel: 286/287, 386SX-33, 386DX/387-40, 486DX-33, 486DX2-66, Pentium и др.), а также на основе Motorola: Macintosh (68020, 68030, 68040 и другие), рабочие станции и мини-ЭВМ: Sun/Sparc, IBM RS, HP/Apollo, DEC, NeXT и другие, которые могут применяться при организации систем мониторинга геологической среды. Персональные компьютеры должны быть обеспечены соответствующими операционными средами, среди которых наиболее распространены: MS-DOS (версии 3.3, 4.01, 5.0), IMS-DOS 6.0, DR-DOS 6.0, Windows (версии 3.0 и 3.1), Windows for Workgroups, Windows NT, UNIX, XENIX, Solaris, OpenLook и др. Многие операционные среды в настоящее время имеются в русифицированных вариантах (версиях).

К периферийному оборудованию относятся: принтеры матричные (например, Epson, Panasonic, Star и др.), лазерные и струйные (Hewlett-Packard, PostScript, Canon, Xerox, Magic Color, Olivetti и др.), плоттеры, графопостроители (графические терминалы), сканеры (HP ScanJet и др.), дигитайзеры, множительная (копировальная) техника (Canon, Xerox, Ricoh, Sharp, Sanyo, Mita, Drum Unit и др.), сетевые адаптеры, серверы (NetServer, Pentium, OmniPlex, PowerEdge и др.), модемы, факс-модемы, телефаксы и др.

Техническое обеспечение АИС представляет собой наиболее дорогостоящую часть мониторинга геологической среды. Однако повсеместное расширение в инженерно-геологических организациях и учреждениях сети компьютеров делает задачу реализации технического обеспечения АИС вполне осуществимой. Важно, чтобы при создании и организации новой системы АИС была продумана заранее стратегия функционирования АИС и определена программа ее технического обновления и переоснащения с учетом новых выпускаемых средств компьютерной техники.

3.3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АИС

Математическое обеспечение АИС является одним из основных и строится как минимум на базе четырех блоков программ, которые сопровождаются своими управляющими программами. Эти четыре блока обуславливаются четырьмя основными задачами АИС (см. выше).

Первый блок составляют поисковые программы (базы данных, каталоги, редакторы текстов, программы графической обработки информации, программы автоматизированного картографирования, программы автоматизированного проектирования, редактирования изображений и т.д.). Этот пакет программ должен уметь выполнять в том или ином виде три основные функции: ввод новых данных об объектах наблюдений в системе мониторинга и их хранение, доступ к уже существующим данным (поиск) и первичный анализа данных. Данные, которые накапливаются в базе, должны быть четко структурированы. Функция запроса по данным должна определять основные преимущества организации данных на компьютере в отличие от традиционных ручных методов. Программа, выполняя запрос по данным, используемым в мониторинге, просматривает и отыскивает отдельные части существующей информации, значительно повышая не только скорость, но и качество этой операции.

В данном пакете наряду с оригинальными используются и всевозможные готовые программные средства и коммерческие компьютерные технологии от простых (типа текстовых редакторов "Лексикон", "Слово и Дело", Am1 Pro 3.0 for Windows, Microsoft Word версия 5+, Microsoft Word for Windows, WordPerfect 5.1, WordPerfect 5.2 for Windows и др.) до различных сложных систем управления базами данных (СУБД). Наряду с ними в АИС могут использоваться такие программные средства, как различные электронные таблицы: Lotus 1-2-3 for DOS версии 2.4 и 3.4; Lotus 1-2-3 for Windows версия 1.1; Microsoft Excel русифицированные версии 3 и 4 for Windows; Quattro Pro 4.0 for DOS; Quattro Pro for Windows версия 1.0 и др.

Среди программных компьютерных средств графического представления информации и демонстрационной графики в системе АИС могут использоваться такие пакеты программ, как Freelance Graphics for Windows версии 2.0, Harvard Graphics версии 3.0, Harvard Graphics for Windows версия 1.03, Microsoft PowerPoint for Windows версии 3.0, а также широко распространенные графические редакторы Picture Maker и Paint Brush.

Наиболее полезны в автоматизированных информационных системах мониторинга различные программные средства по управлению базами данных (СУБД). Такие системы по существу представляют собой языки управления базами данных — файлы операторов

интерактивного администратора базы данных. Администраторы баз данных — это удобный способ управления информацией на персональном компьютере без использования программы. Среди различных коммерческих СУБД, предназначенных для IBM PC, первой появившейся подобной системой был пакет dBase II. В настоящее время наибольшим успехом пользуется пакет программ dBase (версии: dBase III, dBase III Plus, dBase IV версия 1+) фирмы Ashton Tate и созданные на его основе аналогичные пакеты программ, например, FoxBase Plus (русифицированные версии “Ребус” и “Карат М”), фирмы Fox Software и Clipper фирмы Nantucket Corporation, совместимые с dBase. Наряду с этим в нашей стране все большей популярностью пользуется такое средство обработки баз данных, как пакет Clarion Software Corporation (США).

Для работы с базами данных и электронными таблицами используются также комплексы поддержки Paradox (версии 3.5 и 4.0) и Quattro Pro 4.0 фирмы Borland International Inc. и их русифицированные версии, выпускаемые фирмой ПараГраф. Paradox версии 4.0 считается одной из самых быстродействующих реляционных (т.е. представляющих базы данных в виде таблиц) СУБД в мире. Этой же компанией выпущена объектно-ориентированная система Database Framework как составная часть пакета Paradox Engine версии 3.0. Последний пакет позволяет создавать приложения баз данных, в том числе и мониторинга, без лицензионных затрат. Этот пакет спроектирован для использования с компиляторами Borland C++ 3.x, Microsoft C версии 6.0 или более поздней, либо с любой поддерживающей объекты версией компилятора Паскаль компании Borland. В Paradox Engine версии 3.0 включено все, что требуется для составления прикладных программ, совместимых с пакетами Paradox версий 3.5 и 4.0 для DOS, Windows и для работы сетевых сред. Некоторые данные о прикладных системах поддержки разного назначения, которые с успехом могут быть использованы в системах АИС мониторинга геологической среды, приведены в табл. 7.

Для неподготовленных пользователей персональных компьютеров удобным в разработке базы данных мониторинга геологической среды может оказаться инструментальная система для разработки информационно-вычислительных систем Unicum, версия 1.4, выпускаемая АО Уникум. Главная особенность, отличающая Unicum от других средств работы с базами данных, — это его ярко выраженная направленность на конечного пользователя, а созданная с ее помощью программа представляет собой совершенно автономную и полностью завершенную прикладную задачу, что делает ее удобной для организации мониторинга. Следует отметить, что различные программные средства постоянно обновляются и их количество интенсивно увеличивается.

Таблица 7

Прикладные системы и программные средства, рекомендуемые для использования в АИС мониторинга геологической среды

Тип системы	Название программы	Среда	Версия	Изготовитель
Текстовый редактор	Лексикон (Lexicon)	DOS	6.37	Е.Н.Веселов
			7.95	— " —
			8.95	— " —
	Лексикон (Lexicon)	DOS	1.1	Микроинформ
			1.2	— " —
			1.3	— " —
	Aml Pro	Windows	3.0	Lotus Development Corp.
	Microsoft Word		5+	Microsoft Corp.
	Microsoft Word	Windows	2.0	Microsoft Corp.
	WordPerfect	DOS	5.1	WordPerfect Corp.
WordPerfect	Windows	5.2	WordPerfect Corp.	
DOCSTOR	Windows		"Интерсофт", русифицированный редактор	
JustWrite	Windows	2.0	Symantec Corp.	
Электронная таблица	Lotus 1-2-3	DOS	2.4	Lotus Development Corp.
	Lotus 1-2-3	DOS	3.4	Lotus Development Corp.
	Lotus 1-2-3	Windows	1.1	Lotus Development Corp.
	Lotus Ami Pro	DOS	3.0	Lotus Development Corp.
	Lotus Improv	DOS		— " —
	Microsoft Excel	Windows	4.0, 5.0	Microsoft Corp.
	Microsoft Works	Windows	2.0, 3.0	— " —
	Quatro Pro	DOS	4.0, 5.0	Borland Corp.
	Quatro Pro	DOS	4.0	"ПараГраф", русифицированная версия
	Quatro Pro	Windows	1.0-5.0	Borland Corp.
Steepler Spider	Windows	1.0	"Стиплер", русифицированная таблица	
CA-Supercalc	DOS			
Графический редактор	Freelance Graphics	Windows	2.0	Lotus Development Corp.
	Harvard Graphics		3.0	Software Publishing Corp.
	Harvard Graphics	Windows	1.03	Software Publishing Corp.
	Microsoft PowerPoint	Windows	3.0	Microsoft Corp.
	Picture Maker			
	Paint Brush			
CorelDRAW!	Windows	3.0, 4.0		
Система автоматизированного проектирования (САПР)	AutoCAD	DOS	11	Autodesk
	AutoCAD	DOS	12	Autodesk
	AutoCAD	Windows		Autodesk
	Autodesk 3D Studio	DOS		Autodesk
	Autodesk AnimatorPro	DOS		Autodesk
	TurboCad	Windows		

Таблица 7 (продолжение)

Тип системы	Название программы	Среда	Версия	Изготовитель
Редактирование изображений	Adobe Photoshop	Windows	2.5	Adobe Systems Inc.
	Aldus PhotoStyler			
	Fractal Design			
	Painter Ventura			
	PicturePro	Windows	1.1	Ventura Software Inc.
	Images Incorporated	Windows	2.0	Iterated Systems
Система управления базами данных (СУБД)	dBASE II	DOS		Ashton Tate Corp.
	dBASE III	DOS		Ashton Tate Corp.
	dBASE III	DOS	1+	Ashton Tate Corp.
	"Ребус"	DOS		Русифицированная версия dBASE III
	dBASE IV	DOS	1+	Ashton Tate Corp.
	FoxBASE Plus			Fox Software Corp.
	FoxBASE III Plus			Fox Software Corp.
	"Карап М"	DOS		Русифицированная версия FoxBASE III
	R:BASE			Microrim Corp.
	Clipper	DOS	5.0	Nantucket Corp.
	Clipper	DOS	5.01	Nantucket Corp.
	Paradox	DOS	3.5	Borland Int. Corp.
	Paradox	Windows	3.5	Borland Int. Corp.
	Paradox	DOS	4.0	Borland Int. Corp.
	Paradox	DOS	4.0	"ПараГраф", русифицированная база
Paradox	Windows	4.0	Borland Int. Corp.	
Paradox Engine	DOS	3.0	Borland Int. Corp.	
WINDOWBASE	Windows		"Интерсофт"	
OPEN ACCESS III	Windows		"Интерсофт", русифицированная база	
Системы моделирования	MATHCAD	DOS	2.52	MathSoft
	MatLab (Математическое моделирование)	DOS		"МВТУ-ФЕСТО ДИДАКТИК"
	"СИАМ" (Система имитационного моделирования)	DOS		"МВТУ-ФЕСТО ДИДАКТИК"
	DYNAMIC	DOS		— " —

Второй блок (который часто бывает совмещен с первым в СУБД) представляет собой блок стандартных программ статистической обработки данных. С его помощью должен выполняться спектральный, корреляционный и регрессионный анализы, сглаживание экспериментальных данных по контролируемым параметрам мониторинга, вычисление различных специальных функций (интегральных, статистических и др.). Такие программы математической статистики содержатся в библиотеках многих коммерческих программных средств, СУБД и электронных таблицах (например, в пакетах Clipper, Quattro Pro и др.).

Третий блок представляет собой прогнозно-диагностические программы и программные средства. Этот блок включает в себя различные модели (математические, имитационные и др.), используемые в системе мониторинга для решения прогнозно-диагностических задач. Его основой является постоянно действующая модель (ПДМ) объекта мониторинга (элементов геологической среды, ПДМ и т.д.). Структура, цели, задачи и функционирование ПДМ рассматриваются ниже (см. разд. 5.2). Для создания ПДМ могут использоваться различные программные системы поддержки и коммерческие программы моделирования, с помощью которых легко разрабатывать ПДМ в системе мониторинга. Среди них используются программы математического моделирования (например, MatLab) или пакеты программ имитационного и динамического моделирования.

Четвертый блок составляют оптимизационные программы. Часто они также совмещены с предыдущим блоком или только с ПДМ. Назначение этого блока программ — решение задач по оптимизации функционирования ПТС или объектов мониторинга геологической среды с выбором (принятием) наиболее оптимального управляющего решения и соответствующих рекомендаций. Программы этого блока также могут разрабатываться на базе готовых средств программной поддержки моделирования. Все четыре рассмотренных блока в системе АИС мониторинга геологической среды взаимосвязаны и составляют единое математическое обеспечение.

3.4. ЛОКАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СЕТИ МОНИТОРИНГА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Рассмотренная выше организация АИС представляет собой, как правило, систему, реализуемую с помощью одного-двух отдельных компьютеров, обслуживающих данный объект мониторинга на локальном или детальном уровне. Для организации систем мониторинга геологической среды не только локального и детального

уровней, но также и регионального, а в конечном итоге национального уровня необходима коммуникационная система, связывающая все уровни более низкого порядка в единую информационную систему. В идеальном варианте должна быть создана единая информационная сеть мониторинга геологической среды России на основе соединения региональных сетей.

Для решения этой задачи на детальном уровне мониторинга геологической среды создаются так называемые локальные вычислительные сети (ЛВС), назначение которых соединить несколько компьютеров (или соответственно несколько АИС) в единую систему. Существуют три основных способа организации локальных вычислительных систем (ЛВС), пригодные и для использования в системе мониторинга (рис. 18).

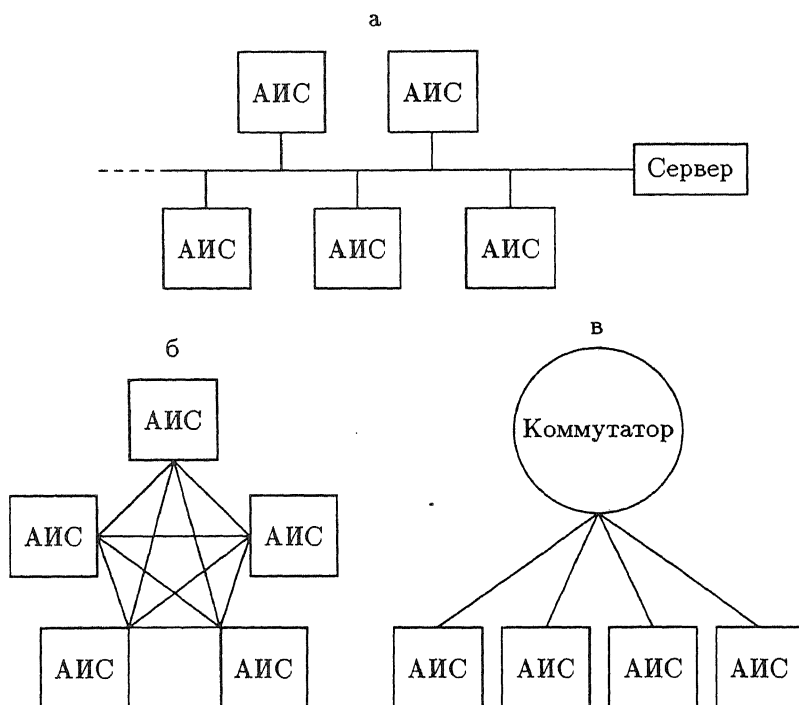


Рис. 18. Возможные варианты создания локальных вычислительных сетей при создании мониторинга геологической среды

Первый способ соединения АИС основан на использовании “общей шины” (рис. 18,а). При этом все компьютеры детальных АИС соединены в одну сеть и подключены к главной машине — “серверу”. Последний представляет собой реализацию АИС более высокого —

локального уровня мониторинга. Как правило, машина, используемая в качестве сервера, должна иметь большой объем оперативной и внешней памяти (винчестер до 1 Гб и более). Сервер управляет работой всей системы АИС детального уровня. С помощью специальных программ по необходимости он открывает или закрывает доступ к той или иной системе АИС локальных уровней мониторинга.

Второй способ соединения показан на рис. 18,б — все локальные АИС соединяются между собой каналами связи в единую сеть, которая и представляет собой АИС более высокого — детального уровня организации мониторинга геологической среды. Передача данных от одной АИС к другой осуществляется с помощью специальных управляющих программ.

Третий способ соединения локальных АИС (рис. 18,в) основан на использовании специального устройства — коммутатора, который управляет передачей данных между отдельными компьютерами в детальных АИС. Это происходит следующим образом: на коммутатор приходит запрос от АИС номер 1 для связи с АИС номер 2. После этого коммутатор открывает доступ для связи АИС 1 и 2 и осуществляется передача информации. Недостатком такой системы является ее малая надежность — при поломке коммутатора система выходит из строя.

Организованные таким образом локальные информационные сети АИС мониторинга геологической среды локального и детального уровней затем могут соединяться в региональные и национальную сети. Их реализация проще всего основывается на использовании модемов. Модемы применяются для связи между ЛВС локального и детального уровней или отдельными машинами по каналам телефонной связи. Модемы относительно дешевы, просты в пользовании и установке. После закупки модемной аппаратуры эксплуатационные расходы сводятся к оплате телефонных “переговоров”.

Для создания локальных сетей мониторинга геологической среды в качестве технических средств могут использоваться сетевые возможности сетей типа LAN, PC-внешний или внутренний HOST, LAN-внешний или внутренний HOST, LAN-LAN (WAN) и др. На них могут быть установлены сетевые операционные системы типа Novell (версии 2.15, 3.11, 4.0), Novell Lite, 3Com 3+ Systems, LAN Manager, Artisoft LANtastic и др.

Одной из ведущих в мире фирм по производству модемов и программных продуктов для них является Hayes Microcomputer Inc. С 1992 г. этой фирмой начались поставки модемов в Россию через компанию ARTNET International Inc. и ведется работа по адаптации модемов Hayes для российского рынка — их сертификация, русификация программных продуктов, техническое обслуживание. В настоящее время получены сертификаты на модемы Optima 24, Optima 96,

Optima 144, а также модемы серии ULTRA. Они могут использоваться при организации региональной сети мониторинга геологической среды. Задача модемов — максимально сжать пересылаемую информацию для увеличения объемов и скорости передачи. Существуют быстродействующие модемы со встроенным сжатием информации с коэффициентом 4:1. Однако для больших АИС регионального уровня, для сложной разветвленной цепи национальной системы мониторинга с большим объемом пересылаемой информации модемы не годятся.

В этом случае могут использоваться три основных варианта соединения ЛВС в региональную сеть.

1. **Коммутация каналов.** В этом варианте связь организуется подобно телефонной: АИС низшего уровня “набирает” телефонный номер принимающего компьютера на региональном уровне, передает информацию и заканчивает “разговор”. К такому виду связи прибегают, когда не требуется постоянного общения между АИС. Различные компании предлагают много разновидностей линий коммутации каналов, которые могут быть использованы для организации мониторинга геологической среды.

2. **Аренда каналов.** В этом варианте устанавливается аппаратное соединение между отдельными АИС на основе постоянной связи. При этом АИС регионального уровня получает в свое распоряжение связь, которая действует постоянно и при которой задержки на соединение отсутствуют. Именно в таком виде связи возникает необходимость при организации АИС регионального или национального уровня, когда происходит постоянный обмен большими объемами информации. В этом случае АИС получают постоянно действующий канал связи на условиях помесечной абонентной платы.

Однако оба эти варианта связи обеспечивают связь только двух организаций в системе мониторинга.

3. **Сеть с коммутацией каналов.** Этот вариант используется тогда, когда требуется соединить между собой более двух организаций в системе мониторинга с большим объемом информации и при создании национальной сети. Такая сеть функционирует во многом так же, как и большая ЛВС 3-го типа: данные транспортируются пакетами, содержащими адреса ЛВС-отправителя и ЛВС-адресата. При этом данные проходят через коммутаторы, которые рассматривают адресную информацию и переправляют пакет дальше — до тех пор, пока он не достигнет своего адресата.

При создании национальной и региональных сетей коммуникации в системе мониторинга геологической среды могут быть задействованы различные организации, занимающиеся передачей больших объемов информации, в частности службы Министерства связи РФ. В

настоящее время крупнейшей организацией, имеющей доступ к глобальной сети передачи данных SprintNet (охватывающей 110 стран мира) и работающей в России по лицензии Министерства связи РФ, является совместное предприятие "Спринт Сеть", созданное усилиями Центрального телеграфа и корпорации Sprint International. Задачей компании "Спринт Сеть" является предоставление услуг организациям и частным лицам по передаче данных, поставке сетевых систем. В настоящее время в рамках "Спринт Сеть" уже создана служба, позволяющая осуществлять доступ к сети передачи данных более чем в 45 крупнейших городах стран СНГ. Компания планирует довести число своих сетевых узлов до 175, чтобы дойти до каждого потенциального потребителя коммуникационных услуг, в том числе в ведомственных и правительственных структурах. Таким образом, в системе АИС мониторинга геологической среды могут быть задействованы уже имеющиеся сети передачи данных общего пользования.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ГЛ. 3

1. Из каких основных структурных блоков состоит мониторинг геологической среды?
2. Что такое автоматизированная информационная система мониторинга? Каково ее назначение?
3. Из каких блоков состоит АИС?
4. Какая информация хранится в АИПС?
5. В чем состоит инженерно-геологическое обеспечение АИС?
6. Что составляет математическое обеспечение АИС?
7. Какое существует программное компьютерное обеспечение для работы с базами данных?
8. Какие типы ЭВМ могут использоваться для создания АИС?
9. Что такое локальная вычислительная сеть? Каково ее место в системе мониторинга?
10. Как и для чего могут использоваться модемы в мониторинге?
11. Что такое региональная вычислительная сеть? Каково ее место в системе мониторинга?

Глава 4

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

4.1. НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ СЕТИ И ПРОГРАММЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Основу системы сбора информации о геологической среде в ходе мониторинга составляют так называемые **наблюдательные сети**. Наблюдательные сети мониторинга геологической среды призваны обеспечить всесторонний сбор достоверной информации о среде в целом и ее отдельных элементах. Достоверность, надежность первичной информации в системе мониторинга — основной залог успеха дальнейшего изучения и оценки состояния объектов геологической среды, ПТС и принятия в конечном итоге верных прогнозов.

Исходя из этого, к наблюдениям в системе мониторинга предъявляются достаточно высокие требования, а их проведение должно основываться на тщательных методических проработках и научном обосновании. В частности, правила изучения режима и качества подземных вод должны быть согласованы с требованиями ведения Государственного водного кадастра по подземным водам, а также увязаны с общегосударственной службой наблюдений и контроля за уровнем загрязнения объектов внешней среды. В зависимости от используемых средств наблюдений они могут быть наземными (непосредственными) или дистанционными. В зависимости от назначения в мониторинге геологической среды используют четыре основные группы наблюдений: инвентаризационные, ретроспективные, режимные и методические.

Инвентаризационные наблюдения (от слова “инвентаризация” — подсчет имеющегося в наличии на данный момент) проводятся достаточно редко, через длительный срок, для того чтобы либо оценить начальное состояние геологической среды, либо оценить многолетние изменения геологической среды. Инвентаризационные наблюдения, как правило, включают в себя набор трудоемких или дорогостоящих методов наблюдений за объектами геологической среды, которые не могут часто использоваться или входить в состав режимных наблюдений. Эти наблюдения носят характер инвентаризации на определенный период и могут проводиться с очередностью

одного раза в год, либо в 2–3 года и более. В состав инвентаризационных наблюдений априори включаются наиболее консервативные элементы геологической среды, для которых заведомо можно предположить низкую скорость изменения, в том числе и техногенного. С другой стороны, инвентаризационные наблюдения организуются на заповедных территориях, где техногенные изменения отсутствуют или медленно проявляются. В этом случае инвентаризационные наблюдения дают возможность установить так называемые “фоновые” значения показателей геологической среды, не подверженной техногенному воздействию.

Ретроспективные наблюдения (от слова “ретроспекция” — взгляд в прошлое, обращение к прошлому) составляют второй вид натуральных наблюдений, используемых в мониторинге геологической среды. Ретроспективные наблюдения направлены на выявление тенденций развития геологической среды или ее компонентов и установление закономерностей их изменений. Ретроспективные наблюдения, дополненные интерпретацией, составляют основу для решения прогнозных задач в мониторинге геологической среды. Они проводятся по особой программе, составленной с учетом установленных для данного компонента геологической среды тенденций развития или изменения. Главное условие при постановке ретроспективных наблюдений — обеспечение надежной информации, достаточной и необходимой для составления того или иного прогноза.

По срокам и периодичности проведения ретроспективные наблюдения могут быть различными в зависимости от того, насколько велика скорость изменения того или иного элемента геологической среды.

Режимными стационарными наблюдениями называются наблюдения за динамикой процессов и явлений на наблюдательных стационарах — наблюдательных участках, точках, пунктах — в целях выявления их закономерностей и обусловленности. Они отражают определенные временные (ежегодные, сезонные, ежемесячные, суточные и др.) колебания в системе наблюдаемых объектов и процессов. Режимные наблюдения в общей методике инженерно-геологических исследований составляют определенный, самостоятельный и важный вид геологических работ, который входит как часть наблюдений и в мониторинг геологической среды.

С самого начала режимные наблюдения нацелены на решение прогнозных задач, на то, чтобы получить возможность предвидеть и прогнозировать тенденцию и масштаб развития тех или иных процессов и явлений. Это также сближает режимные наблюдения с мониторингом геологической среды.

Режимные наблюдения за развитием процессов и явлений во времени при инженерных изысканиях обычно выполняют в целях: 1) получения их качественных и количественных характеристик и оценок; 2) установления закономерностей развития процессов и явлений и выявления причин, их обуславливающих; 3) предупреждения опасных и катастрофических проявлений процессов; 4) составления прогноза развития процессов и опасных явлений; 5) обоснования необходимых мероприятий по охране геологической среды, обеспечению устойчивости сооружений, жизни и деятельности людей, управлению геологическими процессами и явлениями в нужном для человека направлении. Эти же цели входят и в задачи мониторинга геологической среды.

При проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений и хозяйственном использовании территорий чаще всего выполняются следующие виды режимных стационарных наблюдений: 1) метеорологические и гидрологические; 2) гидрогеологические; 3) геотермические; 4) за деформациями масс горных пород на склонах, в откосах, на оползневых участках, в подземных выработках и котлованах; 5) за осадками и деформациями сооружений; 6) за скоростью и характером развития процессов выветривания, эрозии, абразии, пучения горных пород, за их физическим состоянием и другими процессами и явлениями. Все эти наблюдения также входят в состав мониторинга геологической среды.

На различных стадиях инженерных изысканий роль режимных стационарных наблюдений неодинакова. Основной их объем производят на стадии детальных исследований. Они дополняют другие виды геологических работ и поэтому обеспечивают полное и детальное изучение инженерно-геологических условий при решении тех или иных инженерных задач. В небольших объемах их выполняют иногда на стадиях предварительных и рекогносцировочных исследований, а также при дополнительных изысканиях для обоснования рабочих чертежей и очень часто в период эксплуатации сооружений и территорий в отличие от других видов геологических работ. В этом состоит одна из характерных особенностей режимных стационарных наблюдений. Последнее обстоятельство наиболее тесно сближает режимные стационарные наблюдения с мониторингом геологической среды.

Таким образом, пересмотр существующих сетей режимных наблюдений в России — одна из важнейших проблем становления мониторинга геологической среды. Важно наиболее оптимально использовать уже имеющуюся режимную сеть и органично “вплести” ее в структуру мониторинга геологической среды.

Четвертую группу наблюдений в системе мониторинга геологической среды составляют **методические наблюдения**. Они направлены на совершенствование методов мониторинга или на создание новых. Методические наблюдения часто предшествуют режимным или ретроспективным для корректировки или уточнения программ наблюдений. С их помощью устанавливаются наиболее оптимальные сроки контроля наблюдаемых систем и их периодичность. Особенно велика роль методических наблюдений на начальной стадии организации наблюдательной сети мониторинга геологической среды.

Для каждой сети наблюдений при организации функционирующей системы мониторинга разрабатываются **программы наблюдений**. Они должны дать исчерпывающие ответы на вопросы: что, где, чем (как), с какой частотой и периодичностью наблюдать? Разработка программ наблюдений представляет собой сложный творческий процесс, от которого во многом потом будет зависеть надежность получаемой информации. Программа наблюдений входит как одна из важнейших методических составных частей в общую целевую программу мониторинга геологической среды (см. гл. 8). По своей форме программа наблюдений составляется в виде практического методического руководства по наблюдениям на данной конкретной территории мониторинга геологической среды.

Ответ на первый вопрос “что наблюдать?” дается в программе наблюдений исходя из конкретного объекта мониторинга и его ранга. Наблюдения ведутся прежде всего за параметрами или элементами, являющимися ведущими для данной системы, определяющими ее характерные свойства и функционирование, а также наиболее значимыми в экологическом плане. Исходя из этого выбирается наиболее оптимальный комплекс инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических и других показателей. В зависимости от набора компонентов геологической среды выделяют следующие наблюдения за:

- составом, состоянием и свойствами почв, горных пород, техногенных грунтов;
- подземными водами (режим, динамика, гидрохимия и т.д.);
- рельефом (техногенная нарушенность, изменчивость, расчлененность, динамика и т.д.);
- природными геологическими процессами (эндогенными, экзогенными);
- инженерно-геологическими процессами и явлениями;
- процессами взаимодействия инженерных сооружений и геологической среды (осадками сооружений, устойчивостью, состоянием фундаментов, утечками техногенных вод и т.п.).

Установив набор показателей для наблюдений, вопрос “где наблюдать?” решается несколько проще, поскольку каждый показатель

однозначно связан с каким-либо конкретным элементом геологической среды или его частью. Этот вопрос во многом решается сходно с выбором систем опробования при инженерно-геологических, гидрогеологических или геоэкологических исследованиях. Каждая точка наблюдений представляет собой единичный пункт получения информации, а их комплекс — систему пунктов получения информации (СППИНФ). Теория планирования и разбивки СППИНФов в пределах тех или иных объектов геологической среды всесторонне разработана Г.К. Бондариком. Главное в ее организации — учет характера пространственной изменчивости объектов геологической среды, изменчивости зонально-климатических факторов, а также источников техногенного воздействия. Анализ изменчивости показателей загрязнения геологической среды должен проводиться с учетом возможных миграционных путей загрязнений источника: атмосферных по ветру, атмосферных с осадками, поверхностных текущими водами, подземных грунтовыми водами и т.д.

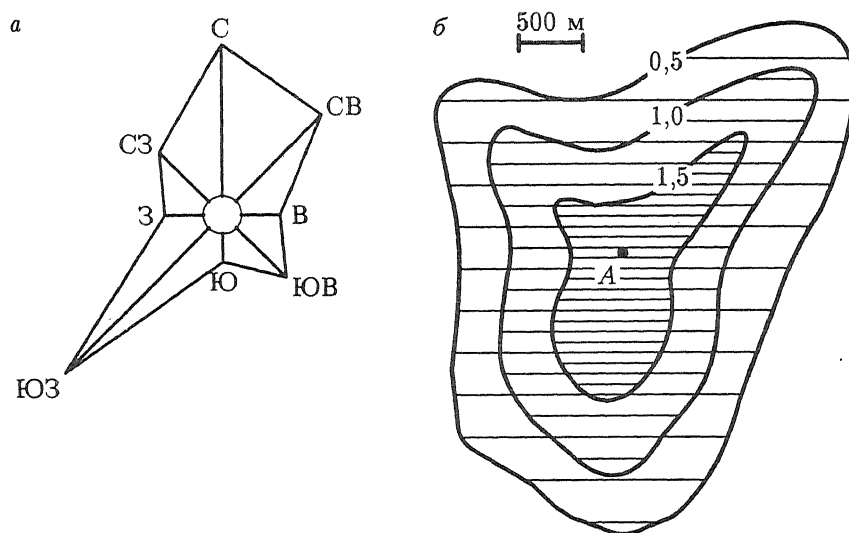


Рис. 19. Роза ветров с преобладанием северного, северо-восточного и юго-западного направлений ветров (а) и ореол загрязнения поверхности цементной пылью ($\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$) вокруг цементного завода, расположенного в точке А (б)

Для анализа поверхностных загрязнений геологической среды и распространения загрязнений по ветру исследуется так называемая роза ветров — график направлений ветра на конкретной территории (рис. 19). Направление ветров на графике обозначается линией с указанием страны света, откуда поступают воздушные массы на

данную территорию. Понятно, что “языки” поверхностных загрязнений будут располагаться в противоположном направлении. Роза ветров строится обычно по многолетним данным для года, полугодия и т.д. по 8 (или 16) румбам на основании ежесуточных метеорологических наблюдений. Учитывая число возникновения ветров за каждые сутки по каждому румбу (а также дни штиля), вычисляют их процент от общего числа изменений за период наблюдения и составляют график (см. рис. 19). Для этого от центра по направлению румбов откладывают в условном масштабе отрезки линий, концы которых соединяют ломаной линией.

Пути миграции загрязнений поверхностными водами анализируются на основе особенностей рельефа и направлений поверхностного стока территории. Миграция загрязнений в потоке подземных вод анализируется на основе исследования карт гидроизогипс и других гидродинамических карт.

При этом следует иметь в виду, что мониторинг направлен как на контроль участков с квазистационарным состоянием геологической среды, так и на выявление до этого неизвестных опасных участков, процессов и т.д. В связи с этим методика обоснования размещения точек режимных и других наблюдений как важнейшего компонента мониторинга включает два аспекта классификации: типов и элементов геологической среды, подлежащих специфическому контролю; источников и факторов техногенных возмущений с последующим выделением зон совокупного воздействия.

Первый аспект предусматривает районирование территории по условиям возникновения и развития геологических и инженерно-геологических процессов и явлений. Второй аспект предполагает проведение специального районирования территории с выделением типов факторов техногенеза, определяющих специфические изменения геологической среды. На основе этой двухаспектной типизации локализуются в пространстве зоны потенциального возникновения инженерно-геологических процессов, выделяются участки общего и специального мониторинга, намечаются районы детальных наблюдений и т.д.

Ответ на вопрос “чем наблюдать?” обычно решается наиболее просто, поскольку техническая база наблюдений в настоящее время достаточно широко разработана. В качестве технических средств наблюдений используются приборы и оборудование как для дистанционных (см. разд. 4.2), так и для наземных наблюдений. Главной проблемой при этом является подбор наиболее оптимального комплекса автоматизированных технических средств с учетом их надежности, стоимости, экономичности и т.д.

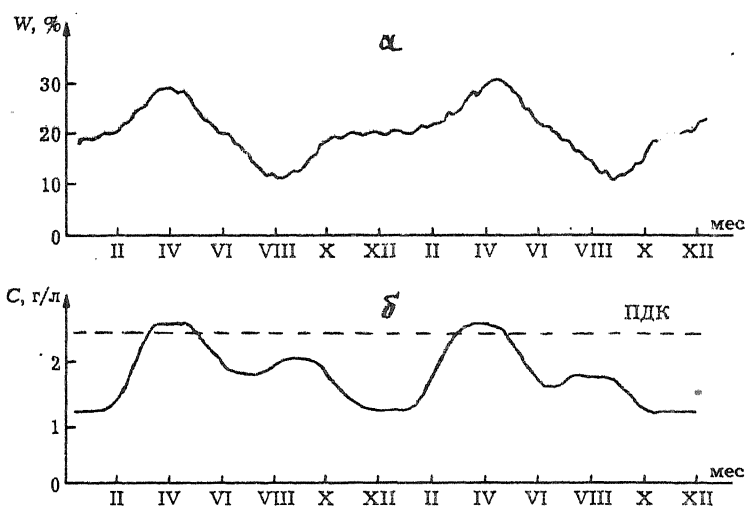


Рис. 20. Данные режимных наблюдений за изменением влажности (а) и концентрации загрязнителя (б) в грунте во времени

Чрезвычайно важным является ответ на вопрос “с какой периодичностью и частотой наблюдать?” Решение этого вопроса определяется учетом временной изменчивости геологической среды и ее объектов, а также временным режимом функционирования техногенных объектов. Часто бывает невозможно сразу правильно выбрать режим наблюдений (частоту замеров, периодичность и т.д.) из-за недостаточной первичной информации о том или ином объекте. В этом случае проводятся методические исследования или по прошествии какого-то времени вносятся корректировки в программу наблюдений, которая постепенно уточняется и по мере работы системы мониторинга становится все более оптимальной. На рис. 20 показаны графики режимных наблюдений за изменением природной влажности (а) и концентрации загрязнителя (б) в грунте по месяцам в течение двух лет. Из графика следует, что указанные параметры меняются по сезонам года циклически с определенными периодами, которые позволяют установить периодичность наблюдений при условии, что режим существования данного грунта будет оставаться таким же. При этом следует иметь в виду, что при данном режиме в некоторые месяцы загрязнения могут превышать ПДК, а в остальные периоды оставаться ниже ПДК (см. рис. 20). Таким образом, если проводить отбор проб на загрязнение случайным образом, можно получить ошибочные результаты. Аналогичные периодические зависимости могут быть установлены и для многих других параметров и элементов геологической среды, что свидетельствует об определенной цикличности многих природных процессов.

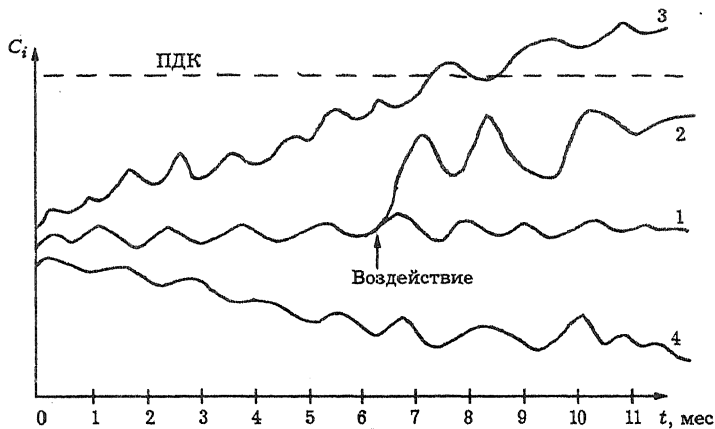


Рис. 21. Различные варианты изменения концентрации загрязнителя в грунте во времени (объяснение в тексте)

Однако при техногенном вмешательстве в геологическую среду правильная периодичность тех или иных параметров может меняться весьма сложным образом, зависящем от режима техногенного вмешательства. При этом могут наблюдаться три возможных случая изменения параметров, показанные на рис. 21. Кривая 1 отражает периодическое изменение показателя C_i в естественных природных условиях. При техногенном воздействии, начавшем сказываться в VI месяце, ход кривой $C_i = f(t)$ резко изменился (кривая 2). Кроме этих случаев могут иметь место и варианты монотонного изменения показателей с тенденцией их уменьшения (кривая 4) или увеличения (кривая 3) как, например, в случае накопления загрязнений. Отмеченные особенности изменения свойств элементов геологической среды во времени должны учитываться при разработке программ наблюдений.

Наблюдательные сети в пределах геологической среды формируются в определенном трехмерном пространстве. В зависимости от масштаба исследований или ранга мониторинга геологической среды наблюдательные сети бывают детальные, локальные, региональные или национальные. Они охватывают определенные площади — так называемые наблюдательные полигоны соответствующего уровня. Наблюдательные полигоны могут включать всю исследуемую территорию или только ее часть. В последнем случае наблюдения ведут либо на опытных площадках, оборудованных соответствующим образом, либо на эталонных участках, геологическое строение которых отражает лишь какой-либо один характерный элемент геологической среды.

Низшей структурной единицей иерархической системы наблюдений мониторинга геологической среды является точка наблюдения (точка отбора проб грунта или почвы, родник, колодец, скважина и т.п.). Следующий уровень — наблюдательный пост (гидрогеологический, геокриологический, инженерно-геологический, геофизический и т.п.), состоящий в случае гидрогеологических наблюдений из группы поэтажно оборудованных наблюдательных скважин. Пост обычно обеспечивает какую-либо одну группу наблюдений, а в случае комплексного применения методов наблюдений (например, гидрогеологических и геофизических) перерастает в наблюдательный полигон. В пределах наблюдательного полигона оборудуется система наблюдательных скважин и экспериментальных площадок, предназначенных для изучения конкретных инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических явлений и процессов.

В зависимости от таксономического ранга наблюдательного полигона на них решаются разные задачи. Полигоны низшего ранга — детальные наблюдательные полигоны, предназначенные для решения различных узких задач сбора первичной информации на участках, типовые условия которых соответствуют опорному полигону.

Опорный полигон соответствует локальному уровню исследований и оборудуется на типовом (опорном) участке, характеризующем какую-либо таксономическую единицу инженерно-геологического типологического районирования. В принципе в системе мониторинга все выделяемые при районировании таксономические единицы должны быть снабжены опорными наблюдательными полигонами. Однако в ряде случаев (для таксономических единиц, не испытывающих техногенных воздействий, устойчивых участков и т.п.), а также в целях экономичности некоторые таксономические единицы районирования могут снабжаться лишь детальными наблюдательными полигонами или постами, или даже точками. На опорных наблюдательных полигонах выявляются основные закономерности и механизмы развития тех или иных процессов, проводится наиболее полный комплекс наблюдений.

Разновидностью опорных полигонов являются так называемые **фоновые полигоны**, или полигоны для сбора фоновой информации на территории, не затронутой техногенными воздействиями. При отсутствии фоновых показателей задача прогнозирования изменений геологической среды значительно усложняется. Вопрос о выборе места для обустройства фонового полигона не всегда решается просто. Особенно сложно выявить участки для оценки фоновых показателей в пределах урбанизированных территорий и районов с большой техногенной нагрузкой. На территории суши Земли площадь неизмененных или незначительно измененных человеком земель постоянно

сокращается и сейчас составляет всего около 15% площади суши, 30% территории составляют частично преобразованные земли и 55% территории, интенсивно измененные и используемые человеком. На региональном уровне исследований в качестве таких участков для оценки фоновых значений показателей может использоваться существующая в России сеть биосферных заповедников и заказников, которая включена в систему глобального мониторинга природной среды. Биосферные заповедники или заказники разного ранга имеются практически во всех административных районах России.

Совокупность ряда опорных полигонов образует **региональный наблюдательный полигон**. Такие полигоны позволяют устанавливать наиболее общие региональные закономерности изменения геологической среды на всей территории.

Специальные наблюдательные полигоны создаются для наблюдений за какими-либо негативными процессами на различных ответственных или уникальных сооружениях. Сложность таких сооружений (например, гидроузла, АЭС и т.п.) обуславливает проведение особых защитных инженерных мероприятий и, соответственно, особых наблюдений, проводимых по специально составленной программе. В связи с этим в системе мониторинга геологической среды специальные полигоны выделяются в отдельный вид.

Опытно-методический полигон в системе мониторинга геологической среды выполняет роль испытательного. В отличие от опорных участков на опытном-методическом полигоне ведется проверка и отработка всевозможных методов контроля и сбора первичной информации за элементами геологической среды или ПТС, проводятся натурные эксперименты, отрабатываются модели и т.д. Опытно-методические полигоны, кроме того, создаются для решения проблемных задач мониторинга.

Изыскательские полигоны служат для кратковременных (на период изысканий) исследований и режимных наблюдений в системе мониторинга. Исследования на них ведутся в соответствии с действующими нормативными документами. Такие полигоны создаются на начальных стадиях формирования наблюдательной сети мониторинга, на стадиях предварительных исследований и т.п.

Основой всякого полигона в системе мониторинга является хорошо и правильно оборудованная наземная наблюдательная сеть, **техническую базу** которой составляет соответствующая измерительная и регистрирующая аппаратура. Выделяется несколько главных условий ее успешного функционирования:

автономность работы приборов (наличие автономных источников питания) с малой потребляемой мощностью;

непрерывность работы измерительных средств (датчиков) в течение длительного времени (5 лет и более);

автоматизация процесса измерений и передачи в АИС или сохранение собранной информации;

комплексация средств измерений (использование меньшего числа приборов для фиксации возможно большего числа параметров).

Для наблюдательной сети мониторинга используется как серийная инженерно-геологическая, гидрогеологическая, геокриологическая и геофизическая аппаратура, а также создаваемая специально с учетом указанных выше условий. Например, с 1991–1992 гг. на территории России началось оснащение пунктов наблюдений в системе упоминавшегося выше проекта ЮНЕП “Мониторинг криолитозоны”. В окрестностях г. Якутска оборудованы две скважины, на которых началось непрерывное наблюдение за температурой с отсчетами два раза в сутки. Аналогичные пункты оборудуются в Тикси, Черском, в долине р. Вилюй, на наледном полигоне Эден (Восточный Саян), на наледном полигоне Аунакит (Патомское нагорье). На ряде этих полигонов впервые в России были применены канадские автоматизированные приборы: автономные измерители температуры активного слоя в комплексе с логгерами (блоками памяти) и автоматизированная метеостанция. Логгеры, сконструированные в расчете на чрезвычайно низкое потребление энергии, имеют существенно более длительный срок автономной работы (до одного года) по сравнению с другими аналогичными приборами. Подобная высокоэффективная и экономичная специальная аппаратура применяется и в других системах мониторинга.

Состав наблюдений определяется в целом типом геологической среды с учетом различных источников техногенного воздействия на данной территории и может быть площадным (проводиться по всей площади), линейным (например, по линии геофизического или геогидрогеологического профиля) или точечным (редкая наблюдательная сеть, рассредоточенная по площади).

4.2. ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Среди дистанционных методов наблюдений в системе мониторинга геологической среды используются две основные группы способов: аэрокосмические и геофизические.

Основными видами дистанционных аэрокосмических методов исследования геологической среды, которые могут с успехом использоваться в системах мониторинга, являются фотосъемка (ФС), телевизионная (ТС), инфракрасная (ИКС), радиотепловая (РТС), радиолокационная радарная (РЛС) и многозональная съемка (МС). Практически все эти методы полезны при оценке техногенных изменений

геологической среды, поиске ореолов загрязнений, оценке динамики техногенных изменений геологической среды и т.д. Указанные дистанционные методы традиционны в инженерно-геологических исследованиях, методики их использования достаточно полно освещены в литературе (работы С.В. Викторова, А.В. Садова, А.Л. Ревзона и др.) и содержатся в нормативно-методических руководствах.

Среди дистанционных в системе мониторинга геологической среды чаще всего используются методы аэрокосмического дешифрирования (ФС). При этом в зависимости от масштаба съемки могут применяться снимки различного масштаба. Так, для крупномасштабной геоэкологической съемки — крупномасштабные аэроснимки масштаба 1:1000–1:3000, позволяющие наиболее детально исследовать техногенные изменения различных элементов геологической среды и других природных компонентов. Снимки более мелкого масштаба (1:10000–1:30000) полезны при оценке техногенных изменений ландшафтов, загрязнений литосферы и других преобразований геологической среды, проявляющихся и захватывающих значительные площади.

Космические снимки (ФС) и (МС) как уникальный источник многообразной новейшей информации призваны сыграть в экологическом картографировании столь же важную роль, какую они играют в исследованиях Земли и ее ресурсов. При этом комплексный характер геоэкологических проблем требует тесного взаимодействия космических методов с другими. Космическая информация в равной степени полезна при анализе природных и антропогенных факторов экологической обстановки, влияющих непосредственно или оказывающих косвенное воздействие. При этом роль сравнительно мелкомасштабной и генерализованной космической информации возрастает при переходе от изучения параметров и элементов среды к ее компонентам и ПТК. Дешифрирование фотоснимков даже в зоне интенсивного техногенного освоения позволяет: определить контуры и площади проявления всех геологических процессов, если они в той или иной мере выражены в рельефе; получить основные морфометрические характеристики поверхности; установить условия и факторы, вызывающие возникновение различных процессов и контролирующих их развитие; оценить ущерб, наносимый тем или иным процессом природной среде и инженерным сооружениям.

В настоящее время среди дистанционных методов, успешно применяемых при мониторинге природной среды, в том числе геологической, является многозональная аэрофотосъемка (АФС) и многозональная аэрокосмическая фотосъемка (АКФС). Снимки выполняются в различных диапазонах спектра и в итоге получают своеобразный “спектральный образ” того или иного объекта геологической

среды (почв, поверхностных грунтов, асфальтовых покрытий, инженерных сооружений, водной поверхности и др.). Дешифрирование АФС или АКФС, которое в настоящее время автоматизировано, и последующий их анализ позволяют в конечном итоге получить большую информацию о состоянии и изменении геологической среды.

Одна из таких систем автоматического дешифрирования АФС и АКФС разработана на географическом факультете МГУ В.И. Кравцовой. Комплекс автоматического дешифрирования создан на базе ЭВМ и помимо компьютера включает в себя видеопроцессор с видеопамятью, устройство ввода-вывода изображений, печатающее устройство. Программа обработки изображений на этом комплексе предусматривает преобразование и подготовку снимков к дешифрированию (контрастирование, подчеркивание границ, яркости, цветокодирование, получение стереомодели и т.д.), определение количественных характеристик объектов дешифрирования (получение спектральных и статистических характеристик), классифицирование объектов с использованием различных алгоритмов (кластеризации, методов параллелизма, максимального правдоподобия и т.д.).

В итоге подобная система автоматического дешифрирования может с успехом использоваться для мониторинга геологической среды (включая городские территории), поскольку позволяет решать комплекс задач инвентаризационного, оценочного, динамического и прогнозного характера: изучать состояние объектов геологической среды, исследовать техногенные воздействия, развитие различных неблагоприятных процессов, оценивать их интенсивность, изучать (путем наложения снимков) динамику изменений, происходящих в геологической среде, составлять прогнозы на базе моделирования, выявлять тенденции, темпы и динамику развития тех или иных экзогенных процессов.

Среди дистанционных методов контроля большого количества объектов, расположенных на значительных площадях, особое место занимает тепловая съемка (ИКС), выполняемая в среднем и дальнем диапазонах инфракрасной области электромагнитного спектра. При этом регистрируется в основном собственное тепловое излучение, интенсивность которого определяется температурой и состоянием излучаемой поверхности. Теплота является конечной формой рассеяния энергии, поэтому различные виды техногенного влияния на геологическую среду и ее изменения во многих случаях, согласно работам Б.В. Шилина (1980), А.И. Антышко (1989), Б.В. Виноградова (1984), И.М. Назарова (1983) и других, находят отражение в тепловом поле земной поверхности. Мониторинг геологической среды, основанный на применении тепловой ИК-съемки, называется дистанционным тепловым мониторингом.

Тепловое поле земной поверхности отличается высокой временной и пространственной изменчивостью, так как формируется под влиянием ряда природных и антропогенных факторов, которые трудно поддаются учету. Поэтому в большинстве случаев по данным тепловой съемки нельзя однозначно судить непосредственно о состоянии элементов геологической среды. Особенно сильно естественное тепловое поле искажено на территориях городов.

Тем не менее тепловая съемка дает хорошие результаты для обнаружения таких техногенных воздействий, как сбросы загрязнений в поверхностную гидросферу, выбросы загрязнений в атмосферу, утечки из различных накопителей жидких отходов, из оросительных систем, наземных и подземных коммуникаций (в том числе теплосетей), наличие зданий и сооружений в зоне развития многолетнемерзлых пород, очаги самовозгорания в толще накоплений различного горючего материала и др. В частности, тепловая аэросъемка является в настоящее время единственным дистанционным методом, позволяющим обнаруживать малые утечки из подземных теплопроводов, что особенно важно для городов. Установлена работоспособность метода при глубинах заложения коммуникаций до 5 м и при диаметрах трубопроводов до 200 мм, а в отдельных случаях — до 50 мм. Экспериментальные работы по тепловому мониторингу геологической среды отдельных районов Москвы и ее области, а также других городов проводились с 1982 г. ПГО «Аэрогеология» и к настоящему времени в этой сфере накоплен большой методический материал, подтверждающий высокую эффективность данного дистанционного метода.

Радиолокационная съемка (РЛС), выполняемая в СВЧ-диапазоне, позволяет получить более обширную информацию, чем тепловая съемка, но основные успехи применения этого метода также связаны с наблюдениями за изменениями влажности поверхностного слоя грунтов и почв и положения уровня грунтовых вод. В связи с этим в системе мониторинга геологической среды метод РЛС особенно эффективен оказывается для контроля тех техногенных воздействий, которые влияют на режим влажности пород зоны аэрации и на уровень поверхности грунтовых вод.

Рассмотренные выше дистанционные методы наблюдений позволяют в основном контролировать динамику процессов, происходящих на поверхности или в самой верхней части разреза. Но в ряде случаев в системе мониторинга необходимы наблюдения за процессами, происходящими в толще пород. Для этого используются различные дистанционные геофизические методы исследований. Успешное использование геофизических методов наблюдений в

системе мониторинга геологической среды обеспечивается тщательным продумыванием и обоснованием схемы измерений, рациональным комплексированием методов, надежными методами обработки информации. Большим преимуществом геофизических методов наблюдений в системе мониторинга является возможность получения непрерывной режимной информации по ряду процессов.

Комплексы геофизических методов описаны в литературе по инженерно-геологическим, гидрогеологическим и геокриологическим изысканиям, аппаратура, применяемая для этих методов и методики исследований, постоянно обновляется и расширяется. Среди основных геофизических методов, применяемых в мониторинге геологической среды, необходимо отметить методы непрерывного сейсмоакустического профилирования, электрических зондирований, естественного электрического поля, резистивометрии и термометрии. Особенно хорошо себя зарекомендовали различные передвижные геофизические комплексы, позволяющие с высокой эффективностью обследовать значительные территории за довольно короткое время.

Кроме перечисленных геофизических комплексов успешно применяются для режимных наблюдений за изменением физико-механических свойств грунтов комплексы, состоящие из радиоизотопных, сейсмоакустических и электроразведочных серийных станций. С помощью таких комплексов могут проводиться режимные наблюдения за изменением физических и физико-механических свойств грунтов во времени под действием различных как природных, так и техногенных воздействий. В пунктах наблюдений оборудуются радиометрическая скважина, устройство для сейморазведочных наблюдений (сейсмокаротажная скважина или сейсмическая “коса”), устройство для акустических измерений (помещение в массив ультразвуковых датчиков), устройство для проведения электрокаротажных наблюдений (установка электрометрической “косы”). Периодичность и длительность измерений на таком комплексе может быть любой и в принципе — автоматизированной, что очень важно в системе мониторинга геологической среды.

4.3. ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ

Центральными в системе мониторинга геологической среды являются проблемы оценки существующих или возможных техногенных воздействий на геологическую среду, а в конечном счете — на экологическую обстановку той или иной территории. Данные вопросы относятся к категории наиболее сложных, а по ряду позиций — дискуссионных.

В связи с этим существуют два понятия. **Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС)** — это система природоохранных критериев и методик, позволяющих оценить воздействие объекта или природопользователя на окружающую среду и ее компоненты. Более узким понятием является **оценка воздействия на геологическую среду (ОВГС)**, под которой понимается система природоохранных критериев и методик, позволяющих оценить воздействие объекта или природопользователя на геологическую среду и ее компоненты. При этом принимается, что в оценку должны входить и сами техногенные воздействия, рассмотренные в табл. 3 (их виды, интенсивность и др.), и их последствия — **изменения геологической среды**, измененность ее компонентов, скорость и интенсивность их изменения и т.п.

Компоненты геологической среды (рельеф, горные породы, подземные воды, геологические и инженерно-геологические процессы) выступают основными элементами не только в собственно инженерно-геологическом, но и при эколого-геологическом анализе состояния территорий, который может проводиться вне или в системе мониторинга. Эти компоненты в совокупности определяют **чувствительность** (или податливость) геологической среды к техногенным воздействиям, ее **устойчивость**. Методика типизации геологической среды с учетом вышперечисленных компонентов в инженерной геологии достаточно полно разработана И.В. Поповым, Е.М. Сергеевым, В.Т. Трофимовым, Г.А. Голодковской, Д.Г. Зилингом, А.С. Герасимовой, Н.С. Красиловой и др. Вследствие этого она может успешно использоваться и для решения задач оценки эколого-геологического состояния территорий. При этом составными элементами такой оценки являются характеристики указанных компонент геологической среды с точки зрения экологии человека.

Под **эколого-геологическим состоянием** территории понимается характеристика инженерно-геологических условий территории как среды обитания человека и объекта инженерно-хозяйственного преобразования с учетом экологических последствий. Эта оценка или характеристика может даваться применительно к уже сложившейся на данный момент ситуации в рассматриваемом регионе (морфологическая задача) или применительно к возможному развитию геоэкологической ситуации в будущем (прогнозная задача). В ряде случаев возможно решение и ретроспективных задач оценки геоэкологической ситуации. Во всех перечисленных случаях при наличии системы мониторинга геологической среды указанные задачи решаются гораздо проще и надежнее.

Одним из главных вопросов в методике ОВГС является выбор и обоснование **критериев** для оценки изменений состояния геологической среды или просто — ее измененности. В настоящее время все

многообразии частных критериев ОВГС можно объединить в определенные группы, включающие характер техногенного воздействия на один или несколько компонентов геологической среды.

1. В группе геохимических критериев оцениваются химическое, бактериологическое, механическое и радионуклидное техногенное загрязнение поверхностных и подземных вод, почв, пород зоны аэрации, искусственных грунтов и донных осадков. Для химического загрязнения всех видов (см. разд. 1.4) оценка уровня загрязнения осуществляется через ПДК (см. Приложение 6) или коэффициент суммарной загрязненности (Z_c). Для бактериологического загрязнения кроме того — через коли-титр и другие показатели; механического загрязнения водоемов — через ПДК для механических водных взвесей. Для радиоактивного загрязнения — по мощности дозы гамма-излучения (мр/ч или Кл/кг) или по уровню удельной радиоактивности (кюри/кг, или кюри/л, или кюри/м³, или согласно Международной системе единиц (СИ) в беккерелях на килограмм — Бк/кг(л)). Некоторые основные геохимические показатели, используемые для оценки различных видов загрязнений геологической среды, приведены в табл. 8.

Практически в рамках ОВГС оценка загрязнения геологической среды для данной территории устанавливается набором существующих загрязнителей и степени загрязнения, одновременно отражающих техногенную измененность геологической среды по сравнению с начальным (или фоновым) состоянием. В общем виде такой подход отражен в табл. 9, по которой оценивается загрязненность всей территории и отдельных компонентов геологической среды.

Оценку уровней радиоактивного загрязнения компонентов геологической среды с выделением соответствующих категорий и с учетом агрегатного состояния загрязнителей можно проводить по классификации МАГАТЭ, предложенной в 1970 г. и приведенной в табл. 10.

Кроме того, аналогичная оценка для твердых радиоактивных отходов и радиоактивного загрязнения геологической среды может проводиться согласно “Санитарным правилам проектирования и эксплуатации атомных станций”, принятым в 1979 г., классификация которых приведена в табл. 11.

Как указывалось выше, для многих типов загрязнения существует эффект взаимодействия различных ингредиентов, которые в одних случаях увеличивают эффект отрицательного воздействия на геосистему, а в других — уменьшают или вообще нейтрализуют. Так, поступление в почву серы приводит к подкислению, что вызывает повышенную миграцию тяжелых металлов (см. Приложения 4, 5). В то же время загрязнение почвенного покрова выбросами ТЭЦ вызывает щелочную реакцию, что способствует фиксации тяжелых

Таблица 8

*Показатели оценки некоторых видов загрязнений
геологической среды*

Подкласс воздействия	Вид воздействия	Показатели изменения геологической среды	Единицы измерения
Радиоактивное	Короткоживущее радионуклидное загрязнение	Мощность дозы гамма-излучения на расстоянии 10 см от источника	мр/ч, Кл/кг
	Долгоживущее радионуклидное загрязнение	Удельная альфа-активность Удельная бета-активность	кюри/кг, Бк/кг кюри/кг, Бк/кг
Химическое	Все виды (по табл.3)	Коэффициент концентрации загрязнения Коэффициент техногенной геохимической нагрузки Общий показатель техногенной нагрузки Модуль техногенного загрязнения Градиент техногенного загрязнения	мг/кг·м
Биологическое	Микробиологическое загрязнение Бактериологическое загрязнение	Коэффициент концентрации микробов Коэффициент концентрации бактерий Бактериальные индексы	

металлов в почвенном профиле. Это обуславливает сложность получения интегрального показателя качества территории по отношению к техногенному загрязнению и на практике приводит к использованию покомпонентных (дифференциальных) показателей. Последние, в свою очередь, сравниваются обычно с фоновыми значениями показателей тех же элементов, с ПДК (см. Приложение 6) или другими характеристиками.

При оценке загрязнения тех или иных элементов геологической среды (грунтов, почв, подземных вод и др.) важно учитывать саму структуру этой среды, т.е. геологическое строение оцениваемой территории. Вместе с тем для изучения загрязнения компонентов геологической среды, ландшафтов необходимо учитывать перераспределение загрязнителей под влиянием ландшафтно-геохимических, погодных и техногенных факторов. Необходим анализ путей миграции

Принципиальная схема оценки загрязнения компонентов геологической среды

Вид загрязнения	Основные группы загрязнителей и их индекс	Компоненты геологической среды											
		Почвы			Породы зоны аэрации			Донные осадки			Подземные воды		
		Степень загрязнения											
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Химическое (а)	Фенолы а ₁												
	Тяжелые металлы а ₂												
	Нитраты, пестициды а ₃												
	Нефтепродукты а ₄												
	Минеральные соли, удобрения а ₅												
Бактериологическое (б)	Кишечная палочка б ₁												
	Бактерии и вирусы б ₂												
Механическое (в)	Инертные взвеси в ₁												
	Аэрозоли в ₂												
Радиоактивное (г)	Радионуклиды г ₁												

компонентов, геохимических сопряжений и т.д. Поэтому для определения фонового уровня загрязнения в геохимии ландшафтов предлагается критерий “фоновой геохимической структуры”, под которым понимается набор показателей между подсистемами ландшафта, отражающих не только содержание элементов в отдельном компоненте или блоке, но также интенсивность миграционных потоков в структуре геохимического ландшафта.

Наиболее простой метод оценки загрязнения региона с учетом структуры геосистемы — это определение среднего уровня загрязнения как средневзвешенного, вычисляемого по формуле:

$$x = \sum_{i=1}^n mZ_i/S,$$

где m — площадь i -го контура оцениваемой территории; Z_i — загрязнение i -го контура; S — общая площадь региона; x — средневзвешенный показатель загрязнения.

Таблица 10

Оценка уровней радиоактивного загрязнения (по классификации МАГАТЭ)

Агрегатное состояние загрязнителя	Категория	Мощность гамма-излучения на расстоянии 10 м		Удельная активность загрязнителя	
		р/ч	Кл/кг	кюри/л(м ³)	Бк/л(м ³)
Твердое	I	< 0,2	< 0,0000516	—	—
	II	0,2-2	0,0000516—0,000516	—	—
	III	> 2	> 0,000516	—	—
	IV	альфа-активность		—	—
Жидкое	I	—	—	< 1 · 10 ⁻⁹	менее 37
	II	—	—	от 1 · 10 ⁻⁹ до 1 · 10 ⁻⁶	от 37 до 37000
	III	—	—	от 1 · 10 ⁻⁶ до 1 · 10 ⁻⁴	от 37000 до 3,7 · 10 ⁶
	IV	—	—	от 1 · 10 ⁻⁴ до 10	от 3,7 · 10 ⁶ до 3,7 · 10 ¹¹
	V	—	—	более 10	> 3,7 · 10 ¹¹
Газообразное	I	—	—	< 1 · 10 ⁻¹⁰	менее 3,7
	II	—	—	от 1 · 10 ⁻¹⁰ до 1 · 10 ⁻⁶	от 3,7 до 37000
	III	—	—	> 1 · 10 ⁻⁶	> 37000

Таблица 11

Классификация твердых радиоактивных отходов по группам радиоактивности (по "Санитарным правилам проектирования и эксплуатации атомных электростанций", 1979)

Группа загрязнений	Мощность дозы гамма-излучения на расстоянии 10 см от отходов		Удельная альфа-активность	
	мр/ч	Кл/кг	кюри/кг	Бк/кг
I	0.03-30	от 7,74 · 10 ⁻⁹ до 7,74 · 10 ⁻⁶	от 2 · 10 ⁻⁷ до 1 · 10 ⁻⁵	от 74000 до 3,7 · 10 ⁵
II	30-1000	от 7,74 · 10 ⁻⁶ до 2,58 · 10 ⁻⁴	от 1 · 10 ⁻⁵ до 0,01	от 3,7 · 10 ⁵ до 3,7 · 10 ⁸
III	> 1000	> 2,58 · 10 ⁻⁴	> 0,01	> 3,7 · 10 ⁸

В тех случаях, когда на загрязнитель отсутствует ПДК (чаще всего это возможно при оценке загрязненности пород зоны аэрации и почв), определение степени загрязненности проводится по сравнению с фоновыми значениями или кларками, фиксируемыми на незагрязненных участках территории. При этом необходим диф-

ференцированный подход к загрязнителям (токсикантам), исходя из класса их опасности (см. Приложения 2, 3) в соответствии с “Основными санитарными правилами” (1988). В качестве примера в табл. 12 дана возможная оценка степени загрязненности пород зоны аэрации с учетом токсичности загрязнителя.

Таблица 12

Оценка степени загрязненности почв и пород зоны аэрации

Степень загрязненности	Критерий выделения степени
1. Незагрязненные	Концентрации всех определяемых элементов фоновые или ниже ПДК
2. Среднезагрязненные	Концентрации компонентов 2- и 3-го классов опасности в пределах 1-5 фоновых значений
3. Сильнозагрязненные	Концентрации компонентов 2- и 3-го классов опасности в пределах 5-10 фоновых
4. Очень сильно и катастрофически загрязненные	Концентрации компонентов 2- и 3-го классов опасности выше 10 фоновых либо компоненты 1-го класса опасности превышают фоновые или ПДК

Возможны и другие подходы к оценке степени загрязненности геологической среды. Один из них изложен в “Методических рекомендациях по геохимической оценке загрязнений территорий городов химическими элементами” (1982). В них показателем уровня аномальности содержания элементов (на поверхности земли, в почве, в снеге, в подземных и поверхностных водах) является коэффициент концентрации K_c , который рассчитывается как отношение содержания элемента i -го вида в исследуемом объекте (C_i) к среднему фоновому его содержанию — концентрации (C_f):

$$K_c = C_i / C_f.$$

Вместо фонового (кларкового) содержания элемента можно использовать, как указывалось выше, его содержание по отношению к ПДК. В этом случае определяется частный показатель, или коэффициент техногенной геохимической нагрузки K_i , рассчитываемый по формуле

$$K_i = C_i / \text{ПДК}_i,$$

где C_i — концентрация компонента i -го вида; ПДК_i — предельно допустимая концентрация (ПДК) компонента i -го вида.

Общий показатель техногенной геохимической нагрузки K_o определяется по формуле:

$$K_o = \sum K_i.$$

Модуль техногенного геохимического загрязнения M_r грунта или подземных вод определяется согласно следующему выражению:

$$M_r = (K_o \cdot s)/S,$$

где s — площадь ореола загрязнения (например, с превышением ПДК или фона в два раза); S — общая площадь территории.

В случае полиэлементного состава техногенной или природной аномалии рассчитывается суммарный показатель загрязненности Z_c и суммарный показатель нагрузки Z_i , характеризующие эффект воздействия группы химических элементов. Эти показатели определяются по следующим формулам:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n - 1); \quad Z_i = \sum_{i=1}^n K_i - (n - 1),$$

где n — число учитываемых аномальных элементов.

Для оценки изменения загрязнений в плане применяется такой показатель, как градиент техногенного геохимического загрязнения территории D , рассчитываемый по формуле:

$$D = (\Delta C)/L,$$

где ΔC — изменение концентрации основных компонентов загрязнения в пробах грунта; L — расстояние между точками опробования. Величина ΔC определяется как среднее из 5–7 проб, а для стандартизации величины L ее принимают постоянной и равной, например, 50 м.

Поскольку в системе мониторинга геологической среды имеется информация о развитии того или иного вида загрязнения во времени, то в связи с этим появляется возможность оценить скорость накопления или изменения загрязнений во времени с помощью таких показателей, как скорость геохимического загрязнения грунта данным химическим элементом (V_i или V_c), а также скорость загрязнения территории (V_s или V_o), которые рассчитываются по формулам

$$V_i = \text{grad } K_i / \text{grad } t \quad \text{и} \quad V_c = \text{grad } K_c / \text{grad } t,$$

$$V_s = \text{grad } M_r / \text{grad } t \quad \text{и} \quad V_o = \text{grad } Z_c / \text{grad } t,$$

где t — время.

Перечисленные выше показатели определяются как для содержания загрязнений в отдельной пробе, так и для участка территории (района, функциональной зоны, природной ландшафтной единицы и т.п.). В последнем случае исследование ведется по геохимическим выборкам. Для каждой выборки рассчитываются среднее значение концентрации элемента, стандартное отклонение и коэффициент вариации. После расчета коэффициентов концентрации и коэффициентов относительного увеличения общей химической нагрузки каждая выборка представляется в виде набора относительных характеристик аномальности химических элементов.

Таковы подходы к оценке загрязненности геологической среды, базирующиеся на ряде нормативных документов. Однако в каждом конкретном случае при организации мониторинга геологической среды исследователь сам должен установить количество степеней оценки загрязненности в зависимости от характера и уровня загрязнения и имеющегося или предполагаемого техногенного воздействия. Это в равной мере относится и к оценке степени загрязненности на основе ПДК или Z_c . Важно подчеркнуть, что при оценке измененности геологической среды не только по геохимическому, но и по другим критериям принципиально важно принять единую шкалу дробности деления этих критериев, что существенно облегчает суммарную оценку измененности геологической среды в целях последующего ее отражения на картографических моделях.

В настоящее время чаще всего используется шестибальная шкала измененности геологической среды: 1. Неизменная; 2. Слабоизменная; 3. Среднеизменная; 4. Сильноизменная; 5. Очень сильноизменная; 6. Катастрофически измененная. При этом 1-я степень ниже ПДК (фона), 2-я — близка к ПДК (фону), остальные степени превышают ПДК (фон). Большинство специалистов для содержания загрязнителей свыше ПДК принимаются следующие градации, которые могут быть приняты и при ОВГС: 1-5, 5-10, 10-50, 50-100 и выше. Однако определение степени загрязненности должно проводиться с учетом класса опасности загрязнителя, о чем говорилось выше.

Среди гео- и гидрогеохимических критериев обособлена подгруппа санитарно-гигиенических критериев. При выявлении уровня и характера возможного техногенного загрязнения территорий промышленных регионов, а также при обосновании границ загрязнения проводятся комплексные токсиколого- или санитарно-гигиенические исследования, включающие токсико-химическую и санитарно-биологическую экспертизу территорий, проводимые в рамках санитарной охраны территорий органами санитарно-эпидемиологической службы (СЭС). Для этих целей используются современные гигиенические, химические, санитарно-бактериологические, паразитологические и статистические методы исследований приповерхностного

воздуха, грунтовых и поверхностных вод, почв и грунтов. Эти методы используются в системе государственного санитарного надзора, регламентируемого нормативными документами органов здравоохранения.

Обычно санитарно-гигиеническая экспертиза* включает в себя: токсиколого-химическую оценку возможных антропогенных загрязнителей с выделением приоритетных; анализ экологических паспортов предприятий, находящихся на исследуемой территории, с выявлением неблагоприятных экофакторов и учетом их токсичности; выявление экологически значимых факторов, могущих отрицательно сказаться на здоровье людей, работающих или проживающих на данной территории.

Наряду с токсичными химическими элементами и соединениями (см. Приложение 2) определяется и ряд санитарно-бактериологических параметров, среди которых выявляются индекс лактозно-положительной кишечной палочки (ЛКП), коли-индекс (ФКП), характеризующий фекальное загрязнение, энтерококки и патогенные энтеробактерии — сальмонеллы. Санитарно-гигиеническое исследование грунтовых и поверхностных вод проводится в соответствии с ГОСТом 17.1.5.02–80, а также с учетом методических рекомендаций и указаний, выпускаемых Министерством здравоохранения.

Таким образом, в рамках ОВГС уровень техногенной загрязненности геологической среды и ее компонентов может быть оценен в двух вариантах, выбор которых зависит от детальности исследований, характера и целей решаемой задачи.

2. Группа инженерно-геологических критериев. В ходе ОВГС критериями данной группы оценивается площадная и относительная пораженность исследуемой территории как природными, так и инженерно-геологическими процессами с расчетом соответствующего **коэффициента пораженности**. Методика их изучения изложена в ряде методических рекомендаций, в работах Г.К. Бондарика, А.Л. Ревзона, В.С. Федоренко, Г.А. Голодковской, А.В. Садова и других и не вызывает затруднений в практической деятельности, в том числе и в системе мониторинга геологической среды. Ключевым моментом при этом является выделение основных процессов или их парагенезисов.

Близкий методический подход реализован в СНиПе 2.01.15–90, где выделены опасные процессы и приведена таблица для определения их активности. Однако в каждом конкретном случае необходимо обоснование принятого решения и, в частности, градаций степени техногенной измененности геологической среды. Так, при определенных видах хозяйственной деятельности (например, шахтной разработке полезных ископаемых) учет подземной закарстованности пород и локальной активизации современного поверхностного карста может оказаться приоритетным перед оценкой площади заболачивания или

ветровой эрозии почв. При конкретном решении этого вопроса необходимо ясное представление о природе и характере техногенного воздействия (см. табл. 3) и вызываемых им процессах с учетом природоохранного подхода к ОВГС.

В существующих методических рекомендациях и нормативных документах (СНиП 2.01.15–90) предложено разделять наиболее развитые на данной территории экзогенные геологические процессы на несколько групп, различающихся воздействием на условия строительства, ресурсы территории и экологические последствия. Для каждого наиболее значимого процесса составляется аналитическая карта с единой градацией для всех процессов по степени площади пораженности либо по скорости развития (активности) согласно СНиП 2.01.15–90. Для оценки степени пораженности территории могут использоваться различные градации, например, указанные в табл. 13.

Таблица 13

Оценка степени пораженности территории экзогенными геологическими и инженерно-геологическими процессами

Степень пораженности, %	Нарушенность территории	Название категории
Менее 5	Ненарушенная	Благоприятная
5–25	Средненарушенная	Неблагоприятная
Более 25	Сильнонарушенная	Весьма неблагоприятная

К инженерно-геологической группе критериев оценки относятся также сейсмичность территории, трещиноватость пород, выветрелость, льдистость пород (по ГОСТ 25100–82), просадочность (по СНиП 2.02.01–83), набухаемость (по СНиП 2.02.01–83), коррозионная активность (по ГОСТ 9.015–76), засоленность (по СНиП 2.02.01–83) и другие, для оценки которых могут использоваться соответствующие инженерно-геологические параметры. Их использование при ОВГС состоит в сравнении параметров для тех или иных элементов геологической среды до техногенного воздействия и после инженерно-хозяйственного освоения территории.

В ходе такого сравнительного анализа могут быть определены количественные показатели техногенной измененности свойств различных грунтов территории, рассчитываемые как отношение соответствующих величин (показателей) до и после техногенного воздействия. Эти показатели аналогичны коэффициенту устойчивости (K_y) грунта, предложенному С.И. Пахомовым и А.М. Монюшко (1988) для оценки степени устойчивости геосистем к различным техногенным воздействиям (см. разд. 1.6).

В рамках мониторинга могут быть также определены количественные показатели скорости изменений устойчивости (V_y) тех или иных элементов геологической среды при техногенном воздействии:

$$V_y = \text{grad } K_y / \text{grad } t,$$

где K_y — коэффициент устойчивости; t — время.

В системе мониторинга геологической среды задача определения величин V_y по комплексу различных признаков (параметров) решается достаточно просто и надежно, однако в ее отсутствии эта задача усложняется из-за нехватки соответствующей информации.

3. **Группа гидрогеологических критериев** включает в себя традиционные гидрогеологические характеристики, к которым относятся: глубины залегания уровня грунтовых вод, размеры и глубины депрессионных воронок, водопроницаемость и водопроводимость пород, минерализация подземных вод, взаимосвязь поверхностных и грунтовых вод, изменение пьезометрических уровней основных водоносных горизонтов, изменение (инверсия) речного стока и др. Они детально рассмотрены в действующих инструкциях по проведению среднемасштабных гидрогеологических съемок и не требуют особых пояснений.

В ходе ОБГС показатели гидрогеологических условий территории также подвергаются сравнительному анализу с подсчетом соответствующих коэффициентов или параметров, показывающих, во сколько (или на сколько) раз изменился данный гидрогеологический показатель за счет техногенного воздействия. При этом принимается во внимание изменение эколого-геологического качества системы аналогично вышерассмотренным коэффициентам устойчивости.

При наличии мониторинга геологической среды данные показатели используются для оценки скоростей техногенного изменения различных гидрогеологических процессов во времени.

4. **Группа геоморфологических критериев** включает в себя характеристики, используемые для оценки степени измененности рельефа как элемента геологической среды. В качестве данных критериев могут использоваться площадь и размах техногенного рельефа, который включает в себя как положительные, так и отрицательные формы, созданные в процессе техногенной деятельности, в том числе участки планировочных работ со срезкой грунта или отсыпкой (намывом) и рекультивируемые территории (см. табл. 3).

В рамках ОБГС оценка степени измененности рельефа для различных территорий (равнинных, предгорных, горных и др.) проводится по разным градациям (шкалам) со слабо-, средне- и сильноизмененным рельефом. Исходя из этих градаций, площади горных отводов с глубокими карьерами, разрезами, высокими внешними отвалами, терриконами и мульдами оседания будут классифицироваться как территории с сильноизмененным или переработанным рельефом.

При наличии мониторинга геологической среды появляется возможность указанные выше геоморфологические критерии дополнить показателями скорости техногенного изменения рельефа.

5. **Группа ресурсных критериев** включает в себя оценку степени техногенной измененности природных ресурсов исследуемой территории, таких, как подземные и поверхностные воды, почвы и т.д. В рамках ОВГС состояние ресурсов подземных вод, пригодных для водоснабжения, может оцениваться через сработку запасов по основным водоносным горизонтам с акцентом на горизонт, на который планируется или оказывается то или иное техногенное воздействие. Градации даются обычно в процентах (долях) сработки от утвержденных запасов подземных вод. Это наиболее строгая оценка ресурсов подземных вод.

Другим критерием, пригодным для использования на стадии “предварительной оценки”, может являться сработанная мощность основных водоносных горизонтов пресных вод, для которой (в зависимости от реальных гидрогеологических условий) устанавливается та или иная градация сработанной мощности в метрах, например 0–5; 5–50; 50–100 и т.д. При наличии системы мониторинга геологической среды эти показатели дополняются скоростями сработанной мощности (м/год).

Состояние ресурсов поверхностных вод (без учета влияния на них загрязнения) может оцениваться по изменению их стока, а по возможности, и по изменению его режима применительно ко всему бассейну реки или его части. По первому критерию (увеличению или уменьшению стока) можно использовать шести- или трехшаговые градации, показанные в табл. 14.

Таблица 14

Оценка ресурсов поверхностных вод по увеличению или уменьшению стока

Шестишаговая градация		Трехшаговая градация	
категория стока	изменение стока, %	категория стока	изменение стока, %
1. Неизменный	0	1. Слабоизмененный	до 15
2. Слабоизмененный	до 15	2. Среднеизмененный	15–25
3. Среднеизмененный	15–25	3. Сильноизмененный	более 25
4. Сильнонарушенный	25–50		
5. Очень сильно нарушенный	50–90		
6. Техногенно-преобразованный	более 90		

Аналогичные градации могут быть использованы и для второго (режимного) критерия по отношению к величине паводкового или меженного стока. Данные для такого анализа берутся по гидропостам на основе многолетних наблюдений или непосредственно получают в системе наблюдений мониторинга геологической среды.

Состояние земельных или почвенных ресурсов в рамках ОВГС можно оценивать по нескольким критериям. Наиболее распространенным является учет площади изъятия земель из сельскохозяйственно-го или лесного фондов для реализации планируемой инженерно-хозяйственной деятельности. При этом учитывается плодородие земель и их принадлежность к угодиям: пашни, выгоны, сенокосы, богарные земли, неудобья, леса и т.д. Но это скорее экономический, а не экологический критерий, хотя учет его в рамках ОВГС обязателен.

Более “экологическим” является ресурсный критерий, оценивающий потерю гумуса в плодородном слое или снижение мощности гумусового горизонта для черноземов. Общепринятой узаконенной градации для этих критериев не существует. По содержанию гумуса рубежной величиной, учитываемой при оценке земельных ресурсов, являются 3%, чем определяется плодородие и стоимость земель, а значит и качество земельных ресурсов. Эта же величина содержания гумуса в почвах важна для оценки сорбционной емкости почв при рассмотрении их как геохимического барьера на пути миграции техногенного загрязнителя. Другой градацией по содержанию гумуса, разделяющей серые лесные почвы и собственно черноземы, является 6%. Таким образом, отсюда вытекает как минимум три градации, которые могут использоваться для оценки почвенных ресурсов: содержание гумуса менее 3%, 4–6 и свыше 6%. При этом содержание гумуса учитывается на момент проводимых исследований и включает в себя учет потерь на ветровую и площадную эрозию и деградацию черноземов. Последняя наиболее объективно оценивается при наличии действующей системы мониторинга. Оценка состояния земель только по мощности чернозема является субъективной; можно рекомендовать учитывать ее в процентах от первоначальной (природной) мощности чернозема.

В заключение следует подчеркнуть, что рассмотренные здесь применяемые в рамках ОВГС ресурсные критерии земель позволяют оценить состояние земельных ресурсов исследуемой территории, сформировавшееся в результате отчуждения земель при техногенном вмешательстве, либо их деградацию и снижение площадей сельскохозяйственных земель при развитии процессов овражной, площадной, водной и ветровой эрозий. Снижение земельных ресурсов за счет загрязнения почв оценивается по другой группе критериев: гео- и гидрохимическим, рассмотренным выше.

4.4. МЕТОДЫ СУММАРНОЙ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

В рамках ОВГС одним из важных вопросов является возможность оценки устойчивости (чувствительности) и измененности геологической среды на основе суммарных, или интегральных показателей. Для организации мониторинга геологической среды такая оценка имеет огромное значение, поскольку позволяет более эффективно и надежно разместить в пределах исследуемой территории наблюдательную сеть. При этом естественно, что густота наблюдательной сети должна быть выше на участках неустойчивых, чувствительных к техногенным воздействиям, и наоборот — она должна быть реже на устойчивых территориях. Использование покомпонентной информации на данный момент является одним из основных методов при суммарной оценке состояния окружающей среды и в том числе — геологической среды.

Для достижения этой цели необходимо получить интегральные характеристики, своего рода макроэкологические параметры. Построение макроэкологических параметров на основе свертки частных покомпонентных показателей представляет достаточно сложную задачу, поскольку необходимо учитывать избыточность, разнохарактерность и разноплановость имеющейся первичной информации. Сложность получения интегральных характеристик качества состояния геологической среды связана с возможным эффектом взаимодействия различных факторов (например, загрязнителей) между собой.

В тех случаях, когда необходима комплексная оценка компонентов инженерно-геологических условий, набор многочисленных инженерно-геологических параметров, отвечающих некоторой точке пространства исследуемой геологической среды, можно заменить одним интегральным показателем. Это позволит иметь дело с пространственным полем одного показателя. Г.К. Бондариком в качестве такого предложен интегральный показатель инженерно-геологических условий U , представляющий собой линейную комбинацию геологических параметров. Для любой i -ой точки геологического пространства

$$U = a_1 R_1 + a_2 R_2 + \dots + a_i R_i = \sum_{j=1}^i a_j R_j,$$

где a_j ($j = 1, \dots, m$) — весовой коэффициент; R_j — нормированное значение j -го геологического параметра.

В выражение U входят нормированные значения геологического параметра. Нормирование, т.е. приведение параметра к безразмерному виду, осуществляется различными способами. Для подсчета U необходимо, чтобы параметр при нормировании не принимал отрицательного

значения и не был бы больше единицы. Этим условиям удовлетворяют два способа нормирования показателей в соответствии с выражениями

$$R_n = (R_i - R_{\min}) / (R_{\max} - R_{\min});$$
$$R_n = R_i / R_{\max}.$$

После нормирования геологических параметров дальнейшая задача заключается в нахождении весовых коэффициентов, на которые должны быть взвешены разные геологические параметры. Для этого могут использоваться два подхода. При решении вопросов общего инженерно-геологического районирования территории или оценки ее инженерно-геологических условий в целом для разных видов хозяйственного освоения можно считать одинаковым вклад каждого компонента инженерно-геологических условий в оценку. В этом случае всем геологическим параметрам приписывают одинаковый весовой коэффициент: $a = 1/m$. Согласно второму подходу при оценке инженерно-геологической системы применительно к конкретному виду использования территории (или к конкретному виду техногенного воздействия, например, загрязнению) вес компонента должен быть пропорционален его важности для такого вида использования (или воздействия). Один из методов оценки вклада в интегральный показатель различных компонентов основан на множественном корреляционном анализе взаимосвязи компонентов инженерно-геологических условий со стоимостью сооружений. Кроме того, коэффициенты можно также рассчитать, используя аппарат дискриминантного анализа или аппарат логических функций.

Для картирования в настоящее время существует несколько методических подходов к получению суммарной (интегральной) оценки современного состояния геологической среды и степени ее измененности, основанных на работах В.Т. Трофимова, Г.А. Голодковской, Д.Г. Зилинга, В.В. Пендина, А.С. Герасимовой, Т.И. Аверкиной и др.

Один из них базируется на использовании двурядной матрицы, на которой по вертикальной шкале располагаются анализируемые компоненты геологической среды с разбивкой каждого по степени измененности, а по горизонтальной — группы оценочных критериев с разбивкой на конкретно использованные. Все они соответствующим образом индексируются, что позволяет на пересечении вертикальных и горизонтальных граф получить искомую оценку состояния каждого компонента геологической среды по степени его измененности в соответствии со всеми выбранными оценочными критериями. На карту выносятся индекс, а его расшифровка дается в экспликации. Пример такой оценочной матрицы, согласно Д.Г. Зилингу, приведен в табл. 15.

Близкий подход был реализован Г.А. Голодковской и Н.И. Лебедевой (1988) при картировании измененности геологической среды

Принципиальная схема покомпонентной оценки состояния
(измененности) геологической среды

Компоненты геологической среды	Градации (степени) оценки геологической среды	Группы оценочных критериев															
		геохимическая		инженерно-геологическая			гидрогеологическая	ландшафтная			ресурсная						
		а	б	в	г	д	а ₁	а ₂	б ₁	б ₂	б ₃	*	г ₁	г ₂	г ₃	д ₁	д ₂
Почвы	A ₁	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
	A ₂	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
	A ₃	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Рельеф	B ₁	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
	B ₂	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
	B ₃	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
Породы зоны аэрации	V ₁	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	V ₂	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	V ₃	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ЭГП и ИГП	Г ₁	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Г ₂	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Г ₃	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Подземные воды	Д ₁	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	Д ₂	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	Д ₃	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Поверхностные воды	E ₁	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	E ₂	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	E ₃	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-

Примечание: а₁ — химическое загрязнение; а₂ — бактериологическое загрязнение; б₁ — площадная пораженность процессом; б₂ — активность процесса; б₃ — просадочность; в — различные гидродинамические характеристики; г — пораженность рельефа: г₁ — площадная; г₂, г₃ — амплитудная; д₁ — сработки запасов (стока) ресурсов; д₂ — площадь изъятия.

* — по инстр. ВСЕГИНГЕО

Московского региона. Для получения ОВГС и картирования изменений геологической среды используются три блока картографических моделей. Первый включает частные и вспомогательные карты, отражающие все природные факторы, необходимые для инженерно-геологической характеристики территории: геологические, геоморфологические, гидрогеологические и геодинамические. Второй блок картографических моделей отражает информацию об инженерно-хозяйственном воздействии на геологическую среду. Он включает карту источников воздействия (карту инженерно-хозяйственной

освоенности территории), а также карты, отражающие характер техногенного воздействия. Третий блок карт является результирующим в процессе инженерно-геологического картографирования. Он отражает строение и распространение различных типов природно-технических систем, содержит оценку чувствительности геологической среды к техногенному воздействию и другую, в том числе прогнозную, информацию.

Построение легенды такой карты также проводится в виде двухрядной матрицы, в вертикальных колонках которой показываются типы строения геологической среды, а в строчках — техногенное воздействие. На пересечениях колонок и строчек в этом случае отображается тип изменений природно-технической геосистемы с характерными для него инженерно-геологическими процессами. В итоге оценка чувствительности (устойчивости) геологической среды к техногенному воздействию позволила выделить три типа строения территории в зависимости от их реакции на инженерно-хозяйственное воздействие: 1) территории высокой степени устойчивости, при которой возникновение инженерно-геологических процессов маловероятно; 2) территории средней степени устойчивости, где возможно возникновение инженерно-геологических процессов, не имеющих катастрофического характера; 3) территории низкой степени устойчивости к техногенному возмущению, реагирующие на предельную инженерную нагрузку возникновением катастрофических инженерно-геологических процессов.

Другой подход основан на суммарном учете частных оценок, проводимом путем учета наиболее измененных компонентов геологической среды с составлением карт по “принципу светофора” с отнесением выделенных участков территорий к измененным, условно измененным и неизменным (или устойчивым, условно устойчивым и неустойчивым) и с указанием в каждом выделенном контуре через циклограммы степени и характера измененности геологической среды. Практическая реализация такого подхода осуществляется отбрасыванием второстепенных критериев оценки и выбором определяющих, главных критериев с учетом только тех компонентов среды, на которые ожидается или оказывается основное техногенное воздействие. Преимущество карт этого типа — простота их восприятия и хорошая читаемость. Таким примером является карта устойчивости массивов дисперсных грунтов к техногенным воздействиям масштаба 1:200 000 (рис. 22), составленная Н.С. Красиловой (1994).

Иной путь показа суммарной оценки — отражение ее не на одной, а на нескольких оценочных картах. Очевидно, что критерии оценки геохимической группы целесообразно объединить на одной карте, геологическую основу которой будет составлять либо оценка защищенности от загрязнения первого от поверхности водоносного

горизонта, либо в более широком плане учет чувствительности территории к техногенному загрязнению. Критерии оценки остальных групп (инженерно-геологической, гидрогеологической, ландшафтной, ресурсной) следует показать на другой карте, геологическую основу которой составляют таксоны типологического инженерно-геологического районирования с выделением типов строения геологической среды на глубину техногенного воздействия. Общей рекомендацией при этом следует считать выбор и отражение на карте не более 4–5 критериев оценки по единой шкале градаций измененности геологической среды.

Второй способ получения суммарных (интегральных) оценок степени измененности геологической среды, согласно В.А. Мощанскому, реализуется через учет коэффициента площадной пораженности и относительной измененности суммированием по всем рассматриваемым критериям и компонентам геологической среды. Для удобства пользования этим коэффициентом составляется таблица, в которой проводится расчет (определение) степени относительной пораженности (K_p) и относительной измененности (G_i) геологической среды для всех выделенных градаций интенсивности (n_i).

Рис. 22. Карта устойчивости массивов дисперсных грунтов к техногенным воздействиям (макет). Масштаб 1:200 000 (по Н.С. Красиловой, 1994). Условные обозначения:

Генезис и возраст отложений: а IV — современные аллювиальные отложения поймы; а III — верхнечетвертичные аллювиальные отложения второй надпойменной террасы; аI III — верхнечетвертичные аллювиально-озерные отложения второй террасы; la III — верхнечетвертичные озерно-аллювиальные отложения третьей террасы; sa III — верхнечетвертичные субазральные покровные отложения; la II-III — средне-верхнечетвертичные озерно-аллювиальные отложения четвертой террасы; III up — среднечетвертичные флювиогляциальные отложения усть-ляпинской толщи; g, lg, laII up — среднечетвертичные нерасчлененные отложения усть-ляпинской толщи: ледниковые, озерно-ледниковые, озерно-аллювиальные; I-II smk+tb — среднечетвертичные и нижнечетвертичные озерно-ледниковые и аллювиальные отложения объединенных семейкинских и тобольских свит.

Современные опасные геологические процессы и явления: 1 — подмыв склонов; 2 — обвально-осыпные процессы; 3 — действующие и приостановившиеся оползни; 4 — овражная эрозия.

Категория устойчивости массивов: 5 — устойчивые; 6 — условно устойчивые; 7 — неустойчивые. Косая штриховка — устойчивость массивов при воздействии статической нагрузки $< 0,1$ МПа без дополнительного увлажнения (I_1^1), горизонтальная штриховка — устойчивость массива при воздействии I_1^2 , вертикальная — при воздействии I_1^3 .

Круговая диаграмма — 8. Каждый сектор соответствует определенному типу техногенного воздействия — 1₂; 2₁; 2₂; 5₁; 5₂; 6₁ (в соответствии с таблицей). Тип ее штриховки (сплошная, пунктирная, точечная) в сегментах сектора отражает изменение устойчивости массива при увеличении интенсивности техногенного воздействия (1₂¹; 1₂²; 1₂³; и т.д.) от центра к периферии.

Прочие обозначения: 9 — границы массивов пород разных видов; 10 — границы геолого-генетических комплексов в пределах массива пород одного вида

Порядок такого расчета следующий: для каждого вида воздействия определяются площади пораженности S_i по градациям степени измененности (интенсивности пораженности n_i). Далее определяется отношение площади пораженности (S_i) к оцениваемой площади (S_t) (в данном случае — к площади таксона районирования), что соответствует коэффициенту относительной пораженности геологической среды (K_p). Коэффициент относительной измененности геологической среды (G_i) определяется для каждого вида воздействия с учетом степени измененности (интенсивности пораженности) по формуле

$$G_i = K_p \cdot n_i,$$

где n_i — интенсивность пораженности (градации).

Затем этот коэффициент суммируется, а полученная величина отражает в конечном итоге суммарную (интегральную) измененность геологической среды данного таксона районирования. Такая оценка является относительной, хотя и характеризует вполне определенные (в физическом выражении) участки территории, пораженные тем или иным видом воздействия. Следует иметь в виду, что преимуществом интегральных показателей является их удобство для применения в картографировании; а определенным недостатком — некоторая потеря конкретной информации.

Таким образом, на основе рассмотренных подходов интегральной оценки измененности геологической среды могут быть построены соответствующие карты, которые для организации наблюдательной сети мониторинга геологической среды являются одними из основных.

4.5. ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИЙ И СОСТАВЛЕНИЕ КАРТЫ-СХЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА

В системе мониторинга геологической среды, с одной стороны, необходимо составлять эколого-геологические карты территорий, а с другой — такие карты являются основой для размещения наблюдательной сети в самой системе мониторинга. Поэтому вопросы эколого-геологического картирования территорий имеют важное значение как в действующей системе мониторинга, так и при его организации.

Общая методика эколого-геологического картирования территорий пока не разработана, однако основные элементы ее содержания в общих чертах можно определить. Очень часто под эколого-геологическим картированием территорий понимают составление одной или серии карт, отражающих загрязнение различными компонентами основных элементов геологической среды: горных пород, почв, подземных вод. Однако такие карты можно считать

частными картами эколого-геологической оценки, поскольку они отражают лишь загрязнение тех или иных элементов геологической среды одним или несколькими загрязнителями и не отражают воздействия на геологическую среду других факторов экологического риска, а именно — негативных природных геологических и инженерно-геологических процессов. Таким образом, **эколого-геологические карты** — это карты, дающие представление о природных свойствах и строении геологической среды, масштабе и характере техногенного воздействия, о экологических результатах их взаимодействия и прогнозе динамики геологической среды в результате существующих и планируемых видов воздействия (освоения). М.С. Голицыным с соавторами (1990) эколого-геологическая карта рассматривается как картографическое отображение геологической среды и происходящих в ней процессов, оказывающих влияние на экосистемы и среду обитания человека с интегральной оценкой этого влияния и его динамики. Эколого-геологическая карта является комплексной, интегрирующей информацию ряда вспомогательных карт.

В комплект эколого-геологических карт входят аналитические, оценочные и синтетические карты, отражающие сведения о состоянии геологической среды рассматриваемой территории. Аналитические карты характеризуют лишь отдельные параметры и процессы, например, концентрации отдельных поллютантов в почвах, подземных водах, донных осадках и т.д., карта гидроизогипс, гамма-поля и т.д. Синтетические (покомпонентные) карты отображают комплексные характеристики компонентов геологической среды (почв, пород зоны аэрации, подземных вод, ЭГП) — загрязнение подземных вод или почв, защищенность подземных вод от загрязнения, интенсивность проявления ЭГП и т.п. Количество синтетических карт и содержащаяся на них информация зависят от масштаба картографирования, специфики района исследований, однако принципы их составления должны быть едиными.

Базовыми для эколого-геологического картографирования являются: геологические, гидрогеологические, геоморфологические, инженерно-геологические, почвенные и ландшафтные карты, содержание и методика составления которых изложены в соответствующих инструкциях и методических указаниях. Согласно работам Г.А. Голодковской, Д.Г. Зилинга выделяются четыре блока эколого-геологических карт, необходимых для решения задач ОВГС — оценки воздействия на геологическую среду (рис. 23).

Первый блок охватывает карты, характеризующие геологическую среду на основе карт геологического, геоморфологического, инженерно-геологического и гидрогеологического содержания, дающих информацию о природных свойствах геологической среды на глубину проектируемого техногенного воздействия. На их основе проводится построение карт типологического и инженерно-геологического



Рис. 23. Схема последовательности составления картографических моделей геологической среды и организации мониторинга

районирования территории, как общих, так и частных, составляемых для отдельных компонентов геологической среды и ориентированных на определенные виды воздействия без анализа их конкретных источников. Таким образом, первый блок объединяет карты типизации

геологической среды.

Карта типологического инженерно-геологического районирования в блоке геоэкологических карт является базовой. Выделяемые на ней таксоны районирования должны соответствовать территориям с различной реакцией среды на потенциальное техногенное воздействие, в этом их отличие от традиционных карт районирования, составляемых при государственных инженерно-геологических съемках. В целом методики составления карт типологического инженерно-геологического районирования достаточно хорошо разработаны и описаны в литературе.

Для экологических целей рекомендуется два подхода к составлению подобных карт. Первый, изложенный в "Требованиях к геолого-экологическим исследованиям и картографированию" (1990), основан на выделении регионов разного порядка по геоструктурному и морфоструктурному признакам; областей — по особенностям геоморфологических структур; районов и подрайонов — по петрографическим и литологическим особенностям дочетвертичных и четвертичных отложений; участков — по совокупности и интенсивности проявления разных экзогенных процессов или гидрогеологическим условиям. Второй подход по сути является модификацией первого, с усилением внимания на морфометрию рельефа и тип строения геологической среды на глубину техногенного воздействия с учетом защищенности подземных вод. Для территорий городов такой подход к выделению типов строения геологической среды рассмотрен Г.А. Голодковской и Ю.Б. Елисеевым (1989).

К частным можно отнести карту защищенности первого от поверхности водоносного горизонта или карту чувствительности геологической среды к техногенному загрязнению. В оптимальном варианте они входят составной частью в карту типологического районирования в ранге участков и подучастков, но в ряде случаев могут иметь и самостоятельное значение. Это относится и к поэлементным картам типологического районирования геохимического, гидрогеологического, геодинамического или иного содержания. Для ОБГС — оценки воздействия на геологическую среду карты "защищенности", "чувствительности" имеют приоритетное значение, поэтому методика их составления подробнее рассматривается ниже. Другие же поэлементные (частные) карты составляются по общепринятым методикам и пояснений не требуют. Карта защищенности первого от поверхности водоносного горизонта составляется по методике В.М. Гольдберга (1976).

Карта чувствительности геологической среды к техногенному загрязнению является картой типологического районирования территории, где таксоны отличаются разной способностью (чувствительностью) участка к вертикальному (с учетом сорбции) и латеральному



Рис. 24. Фрагмент карты прогнозной реакции территории на техногенное загрязнение: 1 — расчлененность рельефа очень способствующая выносу (а), способствующая (б), не способствующая выносу загрязнений (в); 2 — накопление загрязнений биомассой растительности: а — слабое, б — умеренное, в — сильное; 3 — накопление загрязнений породами зоны аэрации: а — очень слабое, б — слабое, в — умеренное, г — сильное, д — очень сильное; 4 — вынос загрязнений подземными водами: а — слабый, б — умеренный, в — сильный; 5 — границы районов с различными значениями расчлененности рельефа (а), биомассы (б), емкости обмена пород (в) и водопроницаемости пород (г)

(механическому) перемещению техногенного загрязнителя. В качестве примера на рис. 24 показан фрагмент карты покомпонентной оценки чувствительности геологической среды к потенциальному техногенному загрязнению масштаба 1:50 000, составленный Т.Н. Аверкиной и Д.Г. Зилингом.

Второй блок (см. рис. 23) включает карты, характеризующие техносферу. Он объединяет, по крайней мере, две карты: **источников техногенной нагрузки** (карту антропогенного или инженерно-хозяйственного освоения территории) и карты **техногенного воздействия** на геологическую среду. Кроме того, в блок входит и карта **функционального устройства территории**. На практике они

чаще всего объединяются, и на сводной карте дается информация об административном положении территории, расположении (площадах развития) сельскохозяйственных и лесных угодий, урбанизированных территориях, садовых, парковых и промышленных участках, транспортных артериях, а также о расположении промышленных и сельскохозяйственных объектов с классифицированием последних по типам хозяйственной деятельности, характеру и интенсивности воздействия на геологическую среду.

При этом основными объектами, подлежащими изучению и картографированию, являются (см. табл. 3): горнодобывающие предприятия (шахты, карьеры, разрезы, рудники и др.); промышленные предприятия (комбинаты, заводы, фабрики, мастерские, автопарки, технические станции и др.); хранилища промтоходов (хвостохранилища, пруды-накопители, пруды-отстойники, полигоны наземного и подземного захоронения отходов производства, золоотвалы, породные отвалы, терриконы, шламонакопители и др.); тепловые и энергетические объекты (ГЭС, АЭС, ГАЭС, ТЭЦ и др.); полигоны захоронения твердых бытовых отходов; станции аэрации, поля фильтрации; бензо- и маслозаправочные станции и нефтебазы; склады ядохимикатов; сельскохозяйственные объекты (животноводческие фермы, птицефабрики, парниковые хозяйства и т.д.). Классификация различных хозяйственных объектов по указанным выше критериям в общем виде (до уровня типов, подтипов и видов) приведена в методической литературе, а виды воздействий могут типизироваться на основе классификации техногенных воздействий, приведенной в табл. 3.

Сбор информации по хозяйственным источникам техногенного воздействия на природную среду осуществляется на основе анализа экологических паспортов предприятий. При их отсутствии информацию получают непосредственно на предприятиях (из технических проектов), а также в органах СЭС. Натурные наблюдения и замеры выполняются только в порядке контроля за наиболее опасными в экологическом отношении объектами.

В общем виде информация по хозяйственным источникам техногенного воздействия включает в себя следующие сведения по тому или иному объекту: размеры (площади); режим эксплуатации; технологию производства; элементы водного баланса, включая объемы утечек; состав и объем жидких и твердых отходов, промышленных сбросов, атмосферных выбросов, а для некоторых сельскохозяйственных объектов — количество вносимых на 1 га удобрений и ядохимикатов. Места сбросов промстоков в поверхностные водоемы и гидрографическую сеть также являются объектом картографирования и классифицируются по объему и приоритетным загрязняющим компонентам. Для сельскохозяйственных территорий помимо вносимых удобрений ядохимикатов указывается характер землепользования с выделением

площадей и видов мелиорации. Информация для карты функциональной организации территории собирается в административных органах с учетом использования топографических карт последних лет и результатов дешифрирования аэрофотоснимков.

Собранная информация по техногенной нагрузке и источникам загрязнения систематизируется в двух формах. Сами источники или объекты выносятся на карту масштабным или внес масштабным (площадным, точечным или линейным) условным знаком, а их характеристика по приведенному выше перечню помещается в экспликации. Последняя является неотъемлемой и важнейшей частью карты и дает возможность судить о масштабах и характере воздействия картируемых объектов на геологическую среду территории.

Третий блок (см. рис. 23) эколого-геологических карт охватывает карты измененности геологической среды под влиянием техногенного воздействия или карты современного состояния геологической среды. Они могут быть как поэлементные (оценочные), так и суммарные (синтетические). По терминологии ВСЕГИНГЕО, это и есть собственно “геоэкологическая карта”. Она является основной отчетной картой и должна отражать изменения на период картографирования.

Карта измененности геологической среды является основной для оценки воздействия и включает в себя синтез всех оценок ее измененности, отраженных на поэлементных картах. Узаконенных методик по составлению таких карт пока не существует, некоторые методы их построения изложены в работах В.А. Мощанского, А.Н. Степанова, А.В. Садова, А.Л. Ревзона, Д.Г. Зилинга, Е.А. Востоковой и др.

Согласно Д.Г. Зилингу и В.А. Мощанскому, можно рекомендовать два основных варианта составления таких карт. Первый основывается на использовании рассмотренных выше коэффициентов площадной и относительной пораженности территории. Для этого составляется таблица в виде легенды матрицы, на которой для каждого выделенного таксона районирования в пределах изучаемой территории дается суммарная оценка коэффициента относительной пораженности (G_i). Приняв максимально полученное значение (G_i) за наивысшую измененность геологической среды данной территории, его делят на число степеней измененности (градаций) и получают шаг оценочной шкалы (шаг градации), которой затем присваивают соответствующие названия (например, от неизменных до максимально измененных территорий). Для получения представления о наиболее опасном изменении, или охватывающем наибольшую территорию, в контуры каждого таксона районирования, закрашенные на карте соответствующими цветами, помещается циклограмма с показом основных видов изменений (через индекс) в соответствии с экспликацией и раскраской

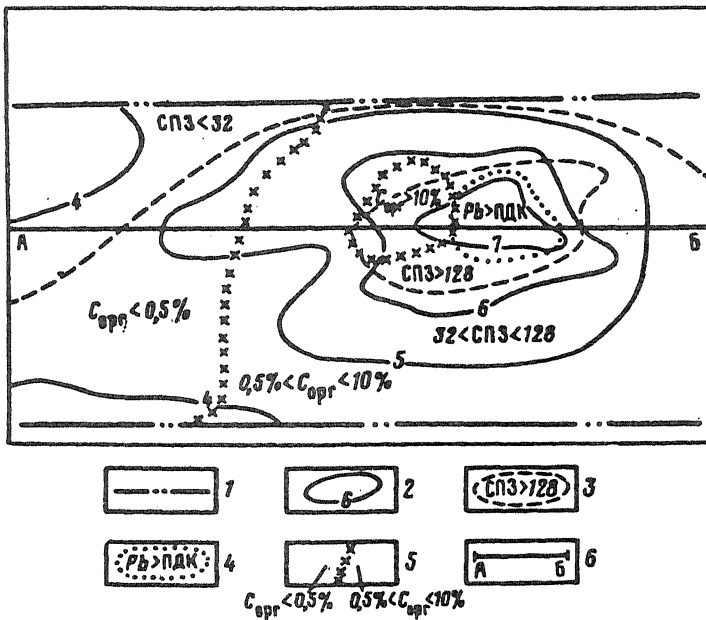


Рис. 25. Фрагмент эколого-геологической карты территории рекультивированной свалки: 1 — граница исследованного участка; 2 — мощность фильтрага, м; 3 — загрязненность тяжелыми металлами (по суммарному показателю загрязнения — СПЗ); 4 — превышения ПДК свинца; 5 — содержание органического углерода; 6 — линия геологического разреза (по С.В. Делятишкому и др., 1990)

по интенсивности воздействия либо цифровой характеристикой G_i . Аналогично оцениваются все таксоны районирования.

Второй вариант предусматривает суммарную оценку степени измененности геологической среды через ее компоненты и выбранные критерии оценки, рассмотренные выше (см. разд. 4.4). Реализация второго варианта составления карты измененности геологической среды осуществляется оценкой степени ее измененности в пределах каждого таксона районирования через соответствующие критерии оценки (см. разд. 4.3). На их базе составляется таблица с ранжированием всех выбранных критериев оценки по единому числу степеней измененности. Площадь каждого таксона районирования по “принципу светофора” закрашивается цветом, соответствующим максимальной степени измененности того или иного компонента среды, с учетом всех критериев оценки. Остальная информация выносится в циклограмму, индексируется в соответствии с таблицей и расшифровывается через экспликацию к карте. В общем виде этот методический подход составления оценочной карты близок к

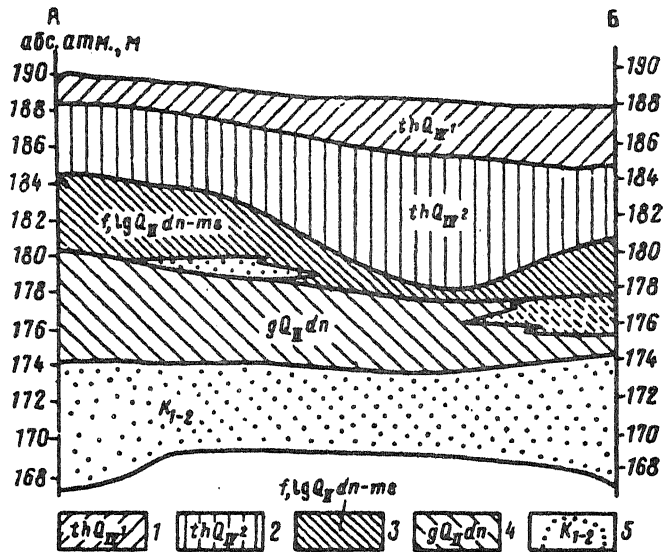


Рис. 26. Геологический разрез по линии А-В (см. рис. 25): 1 — техногенные образования неводонасыщенные; 2 — техногенные образования водонасыщенные (фильтрат); 3 — водно-ледниковые и озерно-ледниковые суглинки с прослоями песков; 4 — ледниковые суглинки с линзами супесей; 5 — меловые отложения (пески) (По С.В. Делятицкому и др., 1990)

методике, рассмотренной для карт чувствительности геологической среды к техногенному загрязнению.

При анализе эколого-геологической ситуации на территориях свалок промышленных и бытовых отходов (ТБО) итоговая карта геолого-экологической оценки территории может быть построена на основе анализа концентраций основных загрязняющих компонентов: газов, суммарного показателя загрязнения тяжелыми металлами, содержания хлороформенного экстракта, органического углерода и концентрации свинца в почвах по отношению к ПДК (Делятицкий и др., 1990). Пример такой карты и разрез к ней показаны на рис. 25 и 26. При этом типизация территории и отражение ее основных типов на карте проводится по принципу "светофора": I тип — территории, неопасные в эколого-геологическом отношении с содержанием загрязнителей ниже ПДК (зеленый цвет); II тип — территории, потенциально опасные в эколого-геологическом отношении, с незначительным превышением ПДК по некоторым компонентам (желтый цвет); III тип — территории, опасные в эколого-геологическом отношении, с превышением ПДК по всем компонентам (красный цвет).

Такой подход вполне правомерен для решения частных вопросов картирования. Однако для составления общих эколого-геологических

карт необходимо учитывать и отражать на карте все факторы риска: развитие опасных природных геологических процессов и явлений, развитие опасных инженерно-геологических процессов и, наконец, техногенное загрязнение геологической среды.

Отсюда возникает вопрос о степени опасности тех или иных процессов и способах их количественной оценки для отражения на картографических эколого-геологических моделях. Помимо фиксации на картах тех или иных техногенных изменений геологической среды важно установить интенсивность и направленность тех или иных изменений, а также стадию этих изменений — начальную, кризисную или катастрофическую. Первая присуща геологической среде с минимальными техногенными воздействиями на нее, когда система еще успевает восстановиться и ее изменения не затрагивают экологическую безопасность человека. Кризисная стадия соответствует такому состоянию геологической среды, когда по ряду компонентов или показателей она достигает критических значений, граничащих с необратимыми изменениями в геологической среде и превышающими экологически безопасные уровни. Катастрофическая стадия изменений соответствует наиболее существенным, необратимым изменениям практически всех компонентов геологической среды, сопровождающихся тяжелыми экологическими последствиями для человека. Эти изменения трудно нейтрализуемы как с социальной, так и с экологической точки зрения. Примером таких катастрофических изменений геологической среды может служить территория бассейна Аральского моря, где негативные изменения в настоящее время из кризисной стадии перешли в катастрофическую.

К сказанному следует добавить, что в зависимости от масштаба эколого-геологическое картирование территорий имеет свои особенности. В инженерной геологии при типизации геологической среды (инженерно-геологическом типологическом районировании) сложилось три уровня исследований: региональный, с выделением таксонов, принадлежащих крупным геологическим структурам и ландшафтно-климатическим зонам; локальный, с выделением инженерно-геологических районов и подрайонов; и детальный с выделением инженерно-геологических участков. Региональному уровню соответствуют обзорные мелкомасштабные карты (1:200 000 и мельче); локальному — карты масштаба 1:25 000–50 000; а детальному — карты масштаба 1:10 000–5000 и более крупные. Очевидно, что при геоэкологическом картировании должны учитываться основные методологические положения и принципы, разработанные в инженерной геологии для типизации геологической среды на разных иерархических уровнях ее организации.

И, наконец, четвертый блок (см. рис. 23) эколого-геологических карт составляют карты прогнозного и рекомендательного содержания, рассмотренные ниже в разд. 5.4.

В заключение необходимо отметить, что рассмотренная методика построения эколого-геологических карт применяется и в системе мониторинга геологической среды, а также служит основой для построения карты-схемы организации мониторинга геологической среды. Основное назначение такой карты-схемы — отразить расположение наблюдательных сетей, разбивку СППИНФов на территории мониторинга. Такая карта-схема является наряду с целевой комплексной программой основным базовым документом для практической реализации мониторинга на данной территории.

Поскольку каждый пункт наблюдений и сбора информации в системе мониторинга должен располагаться с учетом пространственно-временной изменчивости показателей геологической среды, а также с учетом пространственно-временных особенностей техногенных воздействий на геологическую среду, то надежной основой для разбивки СППИНФов и могут являться оценочные эколого-геологические карты состояния геологической среды или карты измененности геологической среды, рассмотренные выше.

Таким образом, содержанием карты-схемы организации мониторинга геологической среды являются три основных блока, отражаемых на карте и составляющих три основных блока ее легенды: 1) типологическое инженерно-геологическое районирование геологической среды рассматриваемой территории; 2) техногенные воздействия, отражаемые на карте в соответствии с их типизацией; 3) наблюдательная сеть (СППИНФ) мониторинга. В блоке наблюдательной сети в условных обозначениях отражаются все виды наблюдений, применяемых в системе мониторинга на данной территории, опытные площадки и ключевые участки, наблюдательные скважины, гидрогеологические и геофизические профили, места взятия тех или иных проб и другие пункты сбора информации.

Практическая реализация карты-схемы организации мониторинга геологической среды проводится в три этапа исходя из ее структуры. Сначала на основе разработанной легенды проводится районирование территории, затем, на втором этапе, — анализ и типизация техногенных воздействий и их отражение на карте-схеме. И, наконец, на третьем этапе в соответствии с принятыми условными обозначениями наносится сеть СППИНФ мониторинга. Указанные операции составления карты-схемы организации мониторинга рассмотрим на примере (рис. 27–31).

На рис. 27 показан фрагмент схематической карты специально инженерно-геологического районирования территории (масштаба 1:50 000 или 1:100 000), на которой предполагается создать систему мониторинга. Эта карта строится на основе базовых карт — геологической,

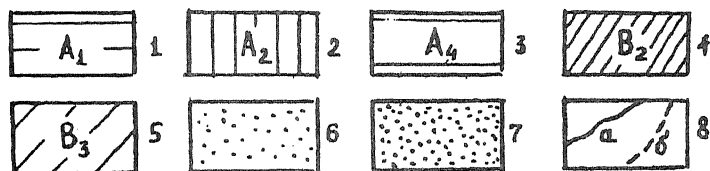
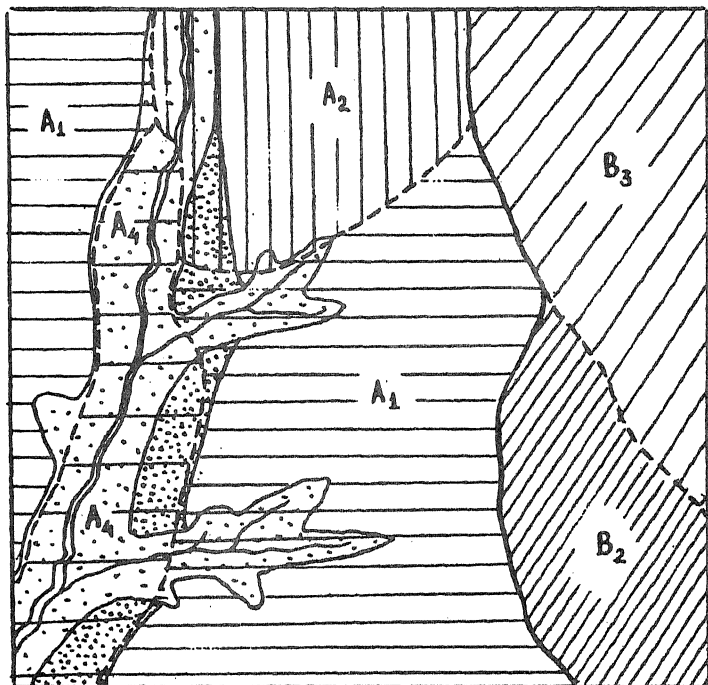
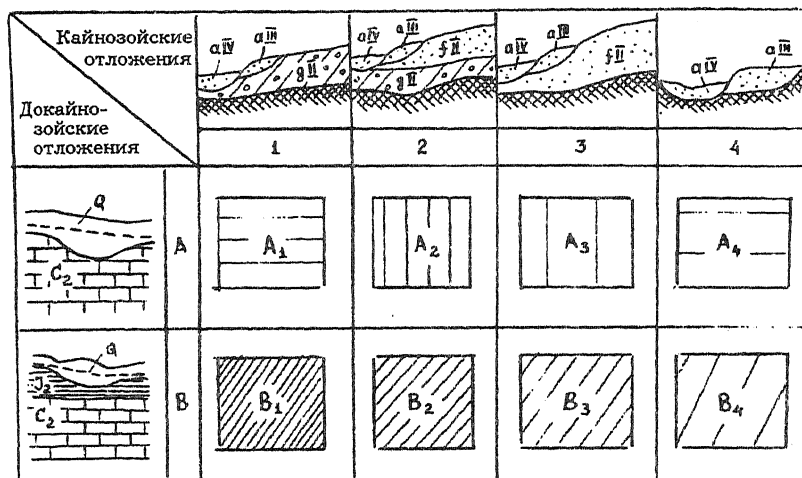


Рис. 27. Схематическая карта специального инженерно-геологического районирования территории (фрагмент): 1-5 — районы и подрайоны и их номера; 6 — аллювиальные отложения поймы; 7 — аллювиальные отложения I надпойменной террасы; 8 — границы районов (а) и подрайонов (б)

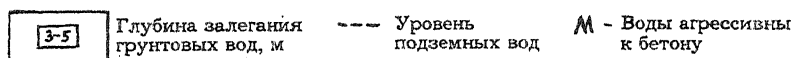
геоморфологической, инженерно-геологической, гидрогеологической. В качестве примера макет легенды к такой карте районирования, по Г.А. Голодковской, показан на рис. 28. В результате типологического анализа на карте выделяются районы и подрайоны с одинаковыми (типowymi) инженерно-геологическими условиями.

На втором этапе составляется карта хозяйственного освоения данной территории, фрагмент которой показан на рис. 29. Легенда к такой карте разрабатывается на основе типизации источников техногенного воздействия. Карта хозяйственного освоения может быть выполнена в виде карты-накладки к предыдущей. Основная цель этой карты —

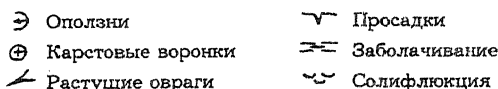
I. ТИПЫ СТРОЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ



II. ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД



III. СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ



IV. ПРОЧИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

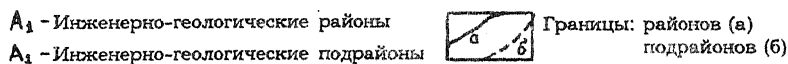


Рис. 28. Макет легенды к карте специального инженерно-геологического районирования (по Г.А. Голодковской, 1988)

показать расположение всех источников техногенных воздействий для их последующего анализа и учета оказываемых ими техногенных воздействий.

На третьем этапе составляется карта техногенных воздействий на геологическую среду, фрагмент ее показан на рис. 30. Карта отражает не только все типы, виды и разновидности техногенных воздействий, но также содержит информацию об их пространственном распространении, о зонах влияния инженерных сооружений, интенсивности воздействий (слабое, сильное и т.п.). Такая карта строится на основе аналитического материала, съемочных работ и специальных исследований. Для исключения перегруженности источ-

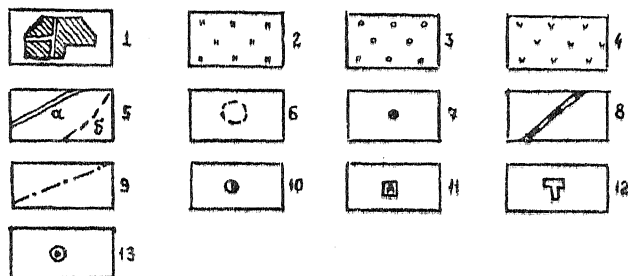
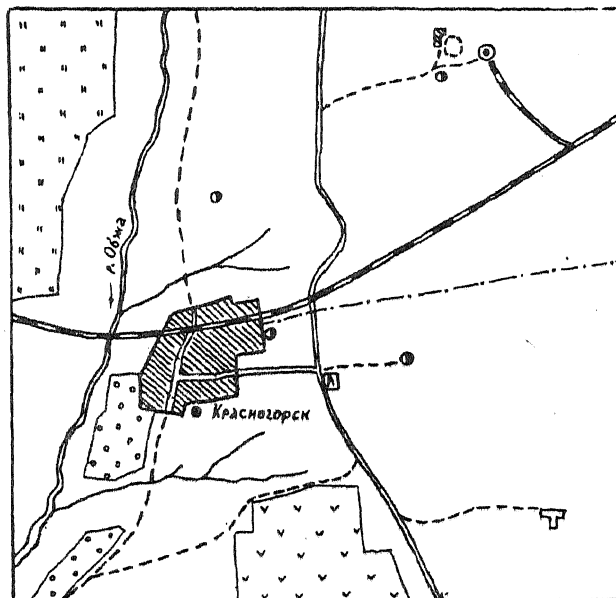


Рис. 29. Схематическая карта хозяйственного освоения территории (фрагмент): 1 — населенный пункт; 2 — пашня (зерновые культуры); 3 — огороды (овощные культуры); 4 — поля орошения; 5 — дороги: шоссейные (а), грунтовые (б); 6 — карьеры; 7 — водозаборы; 8 — электрифицированная железная дорога; 9 — ЛЭП; 10 — свалки ТБО; 11 — АЗС; 12 — животноводческие фермы; 13 — цементный завод

ники техногенных воздействий на ней не показаны, но тем не менее она анализируется вместе с предыдущей картой. Однако на карте техногенных воздействий нанесены районы и подрайоны инженерно-геологического районирования территории, что позволяет выявить территории с теми или иными видами воздействий. Эта карта очень важна в системе мониторинга, поскольку позволяет выявить опасные в эколого-геологическом отношении участки. Например, в данном случае (см. рис. 30) к таким участкам относятся территория полей орошения, территория вокруг цементного завода, АЗС, территории

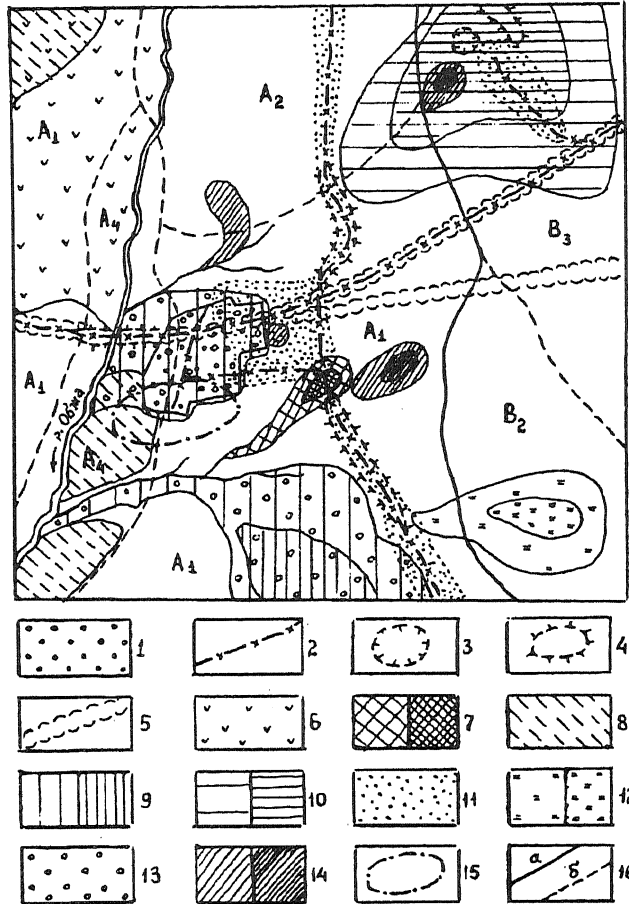


Рис. 30. Фрагмент карты техногенных воздействий на геологическую среду. Механическое воздействие: 1 — статическое уплотнение; 2 — виброуплотнение; 3 — рытье котлованов; 4 — создание насыпей. Электромагнитное воздействие: 5 — наводка электрических полей. Химическое загрязнение: 6 — гербицидное; 7 — углеводородное (слабое, сильное); 8 — засоление; 9 — сточными водами (слабое, сильное); 10 — цементной пылью (слабое, сильное); 11 — тяжелыми металлами; 12 — нитратное. Биологическое загрязнение: 13 — бактериологическое; 14 — микробиологическое. Гидродинамическое воздействие: 15 — откачки; 16 — границы районов (а) и подрайонов (б)

свалок ТБО. Наибольшая концентрация техногенных воздействий наблюдается в пределах населенного пункта, где самым ответственным местом является территория водозабора.

Анализ этой карты позволяет подойти к возможности оценки пространственной сети СПИНФ для целей мониторинга. Сопоставление

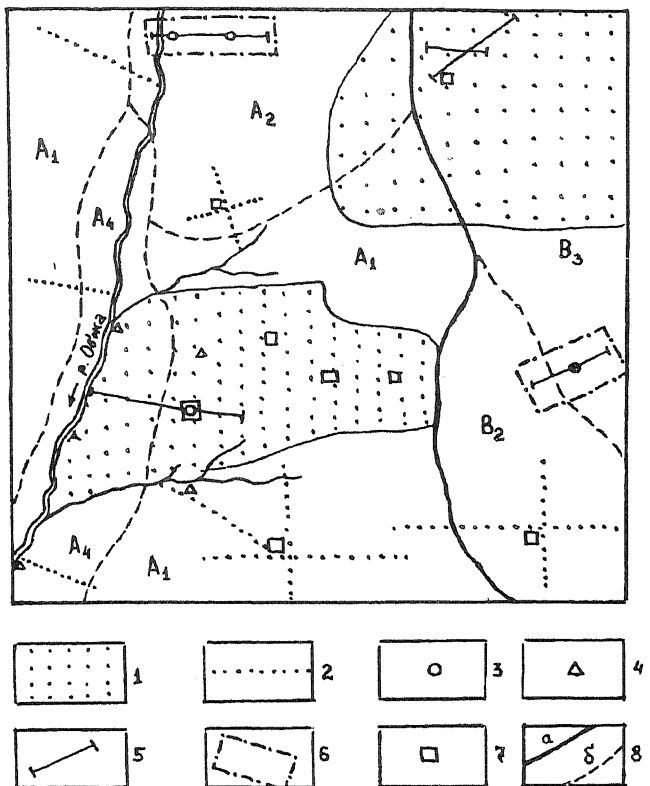


Рис. 31. Фрагмент карты-схемы организации мониторинга геологической среды. Наблюдательная сеть: 1 — площадное точечное наблюдение; 2 — линейное точечное наблюдение; 3 — куст наблюдательных скважин; 4 — гидрогеологический пост; 5 — геофизический профиль; 6 — опорный участок фоновых наблюдений; 7 — наблюдательная площадка; 8 — границы районов (а) и подрайонов (б)

карт районирования и техногенных воздействий позволяет выявить особенности пространственного изменения зон влияния, а значит обоснованно разместить наблюдательную сеть мониторинга. Фрагмент карты-схемы организации наблюдательной сети мониторинга той же территории показан на рис. 31. Легенда к ней разрабатывается на основе классификации компонентов наблюдательной сети применительно к данному масштабу картографирования. На карте-схеме также показываются участки районирования.

Рассмотренный здесь в качестве примера порядок составления карты-схемы организации мониторинга геологической среды территории раскрывает лишь общую схему картографирования. Однако в каждом конкретном случае эта схема так же, как и информа-

ция, отражаемая на этих картах, может видоизменяться (например, отдельные карты могут совмещаться и т.п.).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ГЛ. 4

1. На основе каких главных принципов формируется наблюдательная сеть мониторинга геологической среды?
2. Что такое программа наблюдений? Каковы ее задачи?
3. Как ведется разбивка сети СППИНФ?
4. Какие дистанционные методы и с какой целью целесообразно применять в мониторинге геологической среды?
5. Перечислите основные преимущества дистанционных методов оценки техногенных изменений геологической среды?
6. В чем суть методики оценки техногенного воздействия на геологическую среду?
7. Какими методами и как можно оценить суммарную техногенную нагрузку?

Глава 5

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА

5.1. МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА

При организации мониторинга после создания систем сбора и обработки информации (АИС) встает задача прогнозирования возможных изменений геологической среды и принятия в связи с этим управляющих решений. Обе эти задачи, рассматриваемые в настоящей главе, решаются в системе мониторинга на базе моделирования.

Как известно, методы моделирования широко используются в различных разделах инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии. При этом используется детерминированное, стохастическое (вероятностное) или смешанное моделирование. Все эти группы моделирования применимы и в мониторинге геологической среды. Среди них наибольшее распространение получила подгруппа материального лабораторного моделирования: физическое (метод эквивалентных материалов, тензосетки, фотоупругости, центробежного моделирования и др.) и математическое (аналоговое, цифровое и др.).

При организации мониторинга в связи с расширением в стране компьютерной базы все большее распространение получают различные виды математического (аналитического) моделирования с помощью ЭВМ в форме детерминированного и вероятностного моделирования. Напомним, что детерминированные модели основаны на установленных функциональных связях между зависимыми переменными (функциями) и аргументами. Это моделирование осуществляется на базе ЭВМ-моделей, использующих специальные программы, или на малых структурных аналоговых машинах настольного типа (АВМ МН-7М, МН-10М и др.). В рамках детерминированного моделирования применяется и метод конечных элементов (МКЭ), а также метод конечных разностей (МКР).

Для моделирования многофакторных процессов геологической среды или ее геодинамических процессов (оползневых, сейсмогравитационных, селевых и т.д.) в связи с отсутствием строгих математических описаний этих процессов при моделировании используется

математический аппарат теории вероятностей и математической статистики. Статистические модели основаны на эмпирических данных и содержат, кроме переменных величин и констант, одну или несколько случайных величин различной природы, которые отражают случайные характеристики свойств объектов геологической среды. В принципе любая детерминированная модель, используемая при мониторинге, становится вероятностной, если в нее вводится какая-либо случайная компонента, обусловленная непредсказуемой точно функцией многих переменных.

При организации моделирования в системе мониторинга важно уметь создать модель ПТС, объектов геологической среды или ее элементов, отражающую взаимодействие природной и техногенной компонент. Для этого должна использоваться теория системного анализа.

В системном анализе применяется такой термин, как **входной эффект**, или **вход**, под которым понимается любое воздействие на систему со стороны окружающей или внешней среды, или соседней системы. В качестве входного эффекта может рассматриваться любой вид техногенного воздействия на геологическую среду или их комплекс. И наоборот, соответствующими **выходными эффектами**, или **выходами**, называются изменения (или отклики), которые претерпевает система. Входные эффекты представляют собой внешние факторы по отношению к рассматриваемой системе (техногенная компонента), а выходные эффекты могут быть изменениями ее свойств и характеризоваться комплексом параметров (реакция геологической среды или ПТС).

При всем невообразимом многообразии реальных систем принципиально различных типов моделей систем очень немного. В системном анализе их выделяется всего четыре: 1) модель типа “черный ящик”; 2) модель состава; 3) модель структуры; 4) комплексная модель (сочетание первых трех).

Модель “черного ящика”. Когда ничего неизвестно о внутреннем составе и устройстве самой исследуемой системы (ПТС, элементов геологической среды), то ее модель можно представить в виде непрозрачного “ящика”, выделенного из окружающей среды, так называемого “черного ящика”. Подчеркнем, что уже эта, максимально простая, модель по-своему отражает два следующих важных свойства системы: *целостность* и *обособленность* от среды. Во-вторых, хотя “ящик” и обособлен, выделен из среды, но не является полностью от нее изолированным. Иначе говоря, система связана со средой и с помощью этих связей воздействует на среду. Эти связи осуществляют “входы” и “выходы” рассматриваемой системы (см. рис. 32,а).

Отметим еще раз, что название такой модели образно подчеркивает полное отсутствие сведений о внутреннем содержании “ящика”,

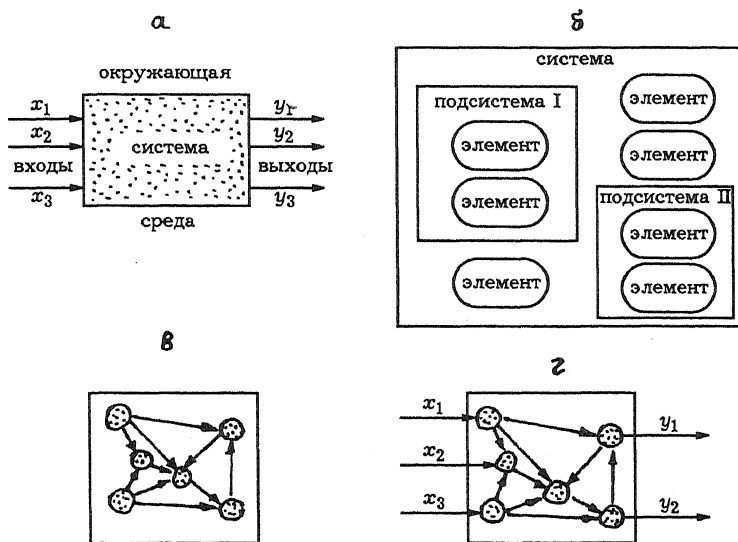


Рис. 32. Типы статических моделей систем: а — модель “черного ящика”; б — модель состава; в — модель структуры; г — структурная схема модели системы (по Ф.И. Перегудову и Ф.П. Тарасенко, 1989)

т.е. рассматриваемой системы. В ней задаются, перечисляются или фиксируются только входные и выходные связи системы с окружающей средой (даже “стенки” ящика в этой модели обычно не описываются, а лишь подразумеваются, признаются существующими).

Модель “черного ящика”, несмотря на всю ее простоту, оказывается весьма полезной, в том числе и при анализе различных природно-технических систем, например, при анализе источников химического загрязнения геологической среды и ее отдельных элементов и т.п. В ряде же случаев модель “черного ящика” оказывается не только полезной, но и единственно возможной и единственно применимой для исследования объекта. Как правило, эта модель используется и на начальных этапах исследований, на начальных стадиях организации мониторинга.

Смысл использования модели “черного ящика” очень прост: варьируя входными переменными — интенсивностью техногенных воздействий (или исследуя их в разных условиях), исследователь изучает реакцию на них выходных параметров — изменений геологической среды или ее элементов. Анализируя затем эту реакцию на выходе, можно сделать ряд важных практических выводов о самой системе. При использовании этой модели в системе мониторинга она реализуется на ЭВМ, и поставленные задачи решаются подбором до наилучшего совпадения входных и

выходных параметров.

Однако простота модели “черного ящика” обманчива. Существует опасность неполноты составления перечня входов и выходов как вследствие того, что важные из них могут быть сочтены несущественными или наоборот. Кроме того, в момент построения модели некоторые из входов и выходов бывают неизвестны. Недостатком модели “черного ящика” является то, что она не дает возможности изучить внутреннее устройство системы. Для этого нужны более детальные модели состава и структуры.

Модель состава системы. Внутренность “ящика” оказывается неоднородной, что позволяет различать те или иные составные части системы, к которым относятся элементы (неделимые части системы) и подсистемы (состоящие более чем из одного элемента). При необходимости в модель можно ввести “подподсистемы” и т.д. для разных уровней. В результате такого анализа получается модель состава системы, используемая в мониторинге геологической среды и описывающая, из каких подсистем и элементов она состоит (рис. 32,б).

Модель состава ПТС или геологической среды (ее элементов) может рассматриваться в широком и узком смысле. В широком смысле подсистемами геологической среды являются почвы, горные породы, техногенные грунты, подземные воды, рельеф, геологические и инженерно-геологические процессы и явления (см. рис. 2). В каждой из этих подсистем могут быть выделены свои подподсистемы и т.д. до элементов. В узком смысле модель состава геологической среды рассматривается применительно к каким-либо частным моделям: геоморфологической модели, геологической модели (минеральный состав, гранулометрический состав и т.д.), гидрогеологической модели (гидрохимический состав и т.д.) и др.

Построение модели состава системы тоже является непростым. Модель состава ограничивается снизу тем, что считается элементом, а сверху тем, что считается границей системы. Как эта граница, так и границы разбиения на подсистемы определяются целями построения модели и, следовательно, не имеют абсолютного характера. В то же время это не означает, что сама система и ее состав нереальны. Мы имеем дело не с разными системами, а с разными моделями систем.

Модель структуры системы. Помимо модели состава системы (ПТС, элементов геологической среды и т.д.) в ряде случаев при мониторинге надо иметь и модель структуры системы, особенно тогда, когда знания одного лишь состава недостаточно для достижения практических целей. Надо знать, как между отдельными элементами ПТС или объектов геологической среды осуществляется связь, устанавливаются определенные отношения. Совокупность необходимых и достаточных для достижения цели отношений между элементами и называется структурой системы.

Перечень связей между отдельными (или всеми) элементами системы и ее подсистемами (т.е. структура системы) является отвлеченной, абстрактной моделью: в ней установлены только отношения между элементами, но не рассмотрены сами элементы. На практике же установлению связей и отношений между элементами геологической среды всегда предшествует построение модели состава, т.е. выделение перечня элементов. Графически модель структуры выражается в виде набора связей разного типа между элементами (рис. 32, в).

Бесконечность природы проявляется и в том, что между реальными объектами, вовлеченными в систему, имеется невообразимое множество отношений. Однако, когда мы рассматриваем некоторую совокупность объектов геологической среды или ПТС как систему, то из всех отношений важными, т.е. существенными для достижения цели, являются лишь некоторые. Другими словами, в модель структуры (т.е. в список отношений) мы включаем только конечное число связей, которые по нашему мнению, существенны по отношению к рассматриваемой цели. Трудность обычно состоит в том, что мы знаем не все реально существующие отношения и вообще неизвестно, является ли конечным их число.

Комплексная модель системы. Объединяя в одну модель “черный ящик”, модель состава и структуры системы, мы получим в итоге комплексную модель ПТС или геологической среды (ее части) или “структурную схему системы” (или “белый ящик” — “прозрачный ящик”). В структурной схеме (не путать со структурной моделью) указываются все элементы системы, все связи между элементами внутри системы и связи определенных элементов с окружающей внешней средой (т.е. входы и выходы системы). Графически структурная схема системы содержит в себе все элементы ее составных моделей (рис. 32, г).

Все структурные схемы имеют нечто общее, что побудило математиков рассматривать их как особый объект математических исследований. Для этого пришлось абстрагироваться от содержательной стороны структурных схем, оставив лишь в рассматриваемой модели нечто общее для каждой схем. В результате получилась схема, в которой обозначается только наличие элементов и связей между ними, а также (в случае необходимости) разница между элементами и между связями. Такая схема называется **графом**, а соответствующий раздел математики — теорией графов. В теории графов предусмотрены и разработаны и различные операции преобразования графов, определения их вероятностных характеристик (вероятностные, или стохастические графы) и т.д. Графы могут изображать любые структуры, если не накладывать ограничений на пересекаемость ребер. Особое место в теории систем имеют структуры с обратными связями, которые соот-

ветствуют кольцевым путям в ориентированных графах. Использование теории графов при моделировании позволяет исследовать в рамках мониторинга геологической среды весьма сложные системы, каковыми и являются реальные ПТС.

Динамические модели систем. До сих пор речь шла о статических моделях и статических системах. Системы, в которых происходят какие-либо изменения во времени, называются динамическими, а модели, их отражающие — динамическими моделями систем. Реальные природно-технические системы, реальные объекты геологической среды представляют собой динамические системы, изменяющиеся во времени. Именно они являются основным предметом моделирования в системе мониторинга, поскольку позволяют решать прогнозно-временные задачи и задачи по управлению системами. Развитие динамических моделей происходит примерно в той же последовательности, как это излагалось: от “черного ящика” к “белому”.

Уже на этапе “черного ящика” различают два типа динамики системы: ее функционирование и развитие. Под функционированием понимают те процессы, которые происходят в системе (и окружающей ее среде), стабильно реализующей фиксированную цель. Развитием же называют то, что происходит с системой при изменении ее целей. Развитие ПТС осуществляется человеком при модернизации производства, смене технологий на более совершенные и т.п. Характерной чертой развития является тот факт, что существующая структура перестает соответствовать новой цели, и для обеспечения новой функции приходится изменять структуру, а иногда и состав системы, перестраивать всю систему. В системе одна подсистема может функционировать, а другая — развиваться, возможны и различные сложные комбинации.

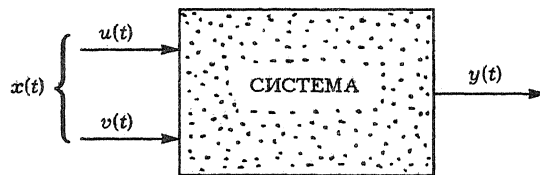


Рис. 33. Динамическая модель “черного ящика”

Следующий шаг в построении динамических моделей систем состоит в том, чтобы конкретнее отобразить происходящие в них изменения, в частности, техногенные изменения геологической среды. Типы динамических моделей такие же, как и статических, только элементы этих моделей имеют временной характер. Таким образом, динамическим аналогом модели “черного ящика” будет задание

на входе какого-либо начального состояния системы (при данном уровне и виде техногенного воздействия), а на выходе — получение конечного (желаемого) состояния системы (ее отклика, измененности) через то или иное время (рис. 33). Для динамической модели состава определяющим будет перечень действий, необходимых для перевода начального состояния состава системы в конечное. Для динамической модели структуры — последовательность действий и продолжительность каждого действия между связями и отношениями.

При математическом моделировании некоторого процесса его конкретная реализация описывается в виде соответствия между элементами множества X возможных “значений” x и элементов упорядоченного множества T “моментов времени” t , т.е. в виде отображения:

$$T \rightarrow X : x(t) \in X^T, \quad t \in T.$$

Рассматривая выход $y(t)$ системы (это может быть вектор) как ее реакцию на управляемые $u(t)$ и неуправляемые $v(t)$ входы

$$x(t) = \{u(t), v(t)\},$$

можно динамическую модель “черного ящика” (рис. 33) выразить как совокупности двух процессов:

$$X^T = \{x(t)\} \quad \text{и} \quad Y^T = \{y(t)\}, \quad t \in T.$$

Все указанные выше типы моделей систем являются формальными, относящимися к любым системам геологической среды, и следовательно, не относящимися ни к одной конкретной системе. Чтобы получить модель заданной системы, нужно придать формальной модели конкретное содержание, т.е. решить, какие аспекты реальной системы включить в элементы модели избранного типа, а какие — нет, считая их несущественными. Этот процесс обычно неформализуем, поскольку признаки существенности или несущественности в очень редких случаях удается формализовать.

В силу этих причин процесс построения содержательных моделей геологической среды или ее элементов является процессом творческим, интеллектуальным. Тем не менее интуиции исследователя, разрабатывающего содержательную модель, немало помогают формальная модель и рекомендации по ее наполнению конкретным содержанием. Формальная модель является “окном”, через которое исследователь смотрит на реальную систему, строя содержательную модель геологической среды.

В процессе построения содержательных моделей систем геологической среды отчетливо прослеживается необходимость использования и формальной логики и диалектики. В этом процессе главной

является задача создания достаточно полной модели. Общие рекомендации по достижению полноты модели следующие:

1) необходимо стремиться учесть все существенные факторы, влияющие на рассматриваемое явление; поскольку такая существенность не всегда очевидна, лучше включить в модель несущественный элемент, чем не включить существенный;

2) одним из необходимых признаков полноты модели является наличие в ней противоречивых элементов; следует уделить специальное внимание этому моменту: например, при перечислении выходов надо включать в перечень не только желательные целевые выходы, но и нежелательные;

3) как бы ни были обширны наши знания о данном явлении, реальность богаче моделей — в ней всегда есть неизвестные факторы; чтобы не упустить из виду возможность чего-то существенного, но пока неизвестного, рекомендуется включать в модель неявные “запасные”, неконкретизированные элементы (типа “все остальное” и т.п.) и на различных стадиях системного анализа обращаться к этим элементам, как бы ставя перед собой вопрос: не пора ли дополнить модель еще одним новым элементом?

5.2. ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИЕ МОДЕЛИ (ПДМ) В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА

Отличие использования моделирования в системе мониторинга геологической среды от других направлений исследований в инженерной геологии, гидрогеологии и геокриологии состоит в том, что созданная модель ПТС или модель геологической среды, или ее части “работает” в системе мониторинга постоянно, а не направлена на решение какой-либо разовой, единовременной задачи. Это — постоянно действующая модель (ПДМ), являющаяся частью АИС и постоянно пополняющаяся новой информацией по мере функционирования всей системы мониторинга. Создание и использование ПДМ является пока единственным и наиболее эффективным способом совершенствования системы управления в области рационального использования и охраны геологической среды территорий, решения всевозможных эколого-геологических проблем.

Постоянно действующая модель геологической среды — это система упорядоченно-взаимосвязанных, постоянно уточняющихся в ходе мониторинга условий и факторов, отражающих состояние части геологического пространства, трансформированного в его логическое, картографическое или математическое изображение для прогнозирования и управления. Основным назначением ПДМ

в системе мониторинга является решение инженерно-геологических и эколого-геологических задач, связанных с оценкой изменения (как природного, так и техногенного) геологической среды и ее компонентов, а также прогнозом ее развития. Применение ПДМ обеспечивает упорядочение технологии сбора и обработки поступающей инженерно-геологической информации на основе компьютеров.

Постоянно действующая модель в системе мониторинга является частью АИС. Она строится таким образом, чтобы по каналам связи постоянно имелась бы возможность получения для модели новой исходной информации из банка данных АИС о состоянии моделируемой геологической среды и о техногенных воздействиях на нее. Функционирование ПДМ, таким образом, осуществляется циклически: по мере получения в АИС новых исходных данных они загружаются в ПДМ и на модели “проигрывается” новый вариант развития моделируемой системы, затем при поступлении новых исходных данных цикл повторяется и т.д. Отсюда следует одно важное свойство и особенность ПДМ: чем дольше функционирует система мониторинга (т.е. чем полнее исходная для моделирования информация), тем “точнее” моделирование, тем ближе модель к моделируемому объекту.

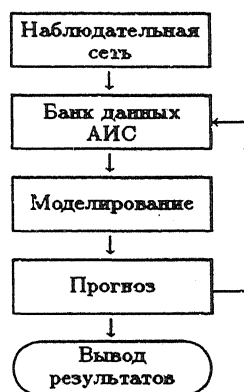


Рис. 34. Блок-схема постоянно действующей модели геологической среды

Принципиальная блок-схема ПДМ показана на рис. 34. Как видно из этой схемы, обращение ПДМ к банку данных, хранящихся в АИС в блоке АИПС, осуществляется циклически при поиске прогнозного решения. Банк данных, используемый в ПДМ, также должен быть автоматизированным и постоянно действующим. Постоянное пополнение новой информации в банк данных также используется в ПДМ при каждом очередном новом запросе исходной

информации для модели. Найденное прогнозное решение заносится в банк данных наряду с прочей информацией и хранится в АИПС до поступления нового уточненного варианта прогноза. При этом информация, включаемая в такие банки, должна быть представлена как информацией фактографической, так и информацией, включающей сведения о теоретических моделях геологических процессов, которые могут быть использованы в той или иной конкретной обстановке. Лишь такие банки данных позволяют оперативно получать и обрабатывать огромное количество информации по состоянию геологических объектов, а также осуществлять прогнозирование их техногенных изменений применительно ко всем формам территориального планирования.

Режим работы ПДМ в общем определяется системой сбора информации в наблюдательных сетях, т.е. особенностями конкретной АИС. Он зависит от:

частоты “опроса” датчиков в каналах связи, частоты контроля тех или иных параметров геологической среды, ПТС;

длительности работы ПДМ (и системы мониторинга в целом) и объема накопленной информации в АИС;

типа решаемых задач, объекта моделирования (его сложности, объема, комплексности и т.д.).

Создание ПДМ — довольно сложный творческий процесс, требующий совместной работы, с одной стороны, математиков и программистов, а с другой — инженеров-геологов, гидрогеологов, геокриологов, геофизиков и др. Для создания математических постоянно действующих моделей могут использоваться готовые коммерческие пакеты прикладных программ по моделированию, число которых и возможности в последние годы постоянно возрастают. К ним относятся, например, “Пакет математического моделирования MatLab” и “Система имитационного моделирования СИАМ” и др. (см. табл. 7).

Широко известен пакет автоматизированного проектирования Автокад (AutoCAD) фирмы Autodesk, который от версии к версии постоянно совершенствуется. Этот пакет программ может с успехом использоваться и в системе АИС мониторинга геологической среды для создания ПДМ. Особенно он полезен для создания графических и картографических ПДМ. В версии 11 Автокада (AutoCAD 11) имеются возможности работы в пространстве листа и твердотельное моделирование, которое можно использовать для ПДМ геодинамических процессов и решения различных прогнозных задач геомеханики. Имеются и другие прикладные системы программной поддержки ориентированные на картографирование, решение геологических задач и

моделирование, которые могут также использоваться для разработки и создания ПДМ в системе мониторинга геологической среды.

Для разработки имитационных ПДМ детального уровня полезным может оказаться пакет “LabView for Windows” — программа для персональных компьютеров типа IBM, Sun или Macintosh, работающая в операционной среде Windows 3.1 или более поздней версии, позволяющая из программных модулей быстро создать модель процесса, а при необходимости заменить целую исследовательскую лабораторию (например, гидрохимическую). В частности, пакет LabView for Windows поддерживает протокол динамического обмена данными (DDE), который является особо ценным для системы АИПС мониторинга геологической среды и представляет собой эффективнейшее средство передачи лабораторных или натуральных результатов наблюдений для дальнейшей обработки программ электронных таблиц, баз данных, а также текстовым редакторам и утилитах генерации отчетов. В пакете предусмотрены самые разнообразные библиотеки для обработки и анализа полученных данных, в дополнительную библиотеку Advanced Analysis входят алгоритмы статистики, линейной алгебры, матричных и численных операций, средства анализа сигналов, электронные фильтры и многие другие средства, необходимые при разработке и реализации ПДМ.

Для ПДМ в системе мониторинга обычно выбираются “узловые”, главные объекты ПТС или геологической среды. Именно эти объекты должны отражать основные изменения, происходящие в геологической среде при техногенном воздействии на нее. По существу ПДМ должна быть имитационной моделью ПТС, геологической среды или ее элементов, показывающей наиболее существенные связи между интересующими нас объектами и работающая в диалоговом режиме. В более сложном варианте для каждого блока модели разрабатывается своя схема причинно-следственных цепей, или диаграмма потока, входы и выходы которой соединяются системой прямых и обратных связей с другими блоками. ПДМ в идеальном варианте должна решать проблему прогнозного моделирования не отдельных геологических процессов (что в настоящее время стало обычным делом), а их парагенетических совокупностей или, вернее, цепей, звенья которых состоят как из процессов трансформации, так и из процессов переноса вещества и энергии. Именно эти процессы и наблюдаются в реальных как природных, так и природно-технических системах — объектах мониторинга.

Несмотря на исключительную сложность построения имитационных ПДМ, концепция их как систем постоянно совершенствующихся позволяет организационно преодолевать эту сложность путем влияния не только на постановку и проведение массовых натуральных наблюдений

и инженерных изысканий, но и на постановку и проведение научных исследований по разработке моделей. Причем приоритетность осуществления тех или иных исследований определяется конкретными особенностями объекта прогнозирования, принадлежащего к той или иной территории, а также интересами развития ее хозяйственного комплекса.

В зависимости от уровня мониторинга (ранга организации) ПДМ могут иметь различную сложность: от достаточно простых постоянно действующих моделей (например, оползневого склона или водозабора) до весьма сложных комплексных моделей (например, гидрогеологических условий города, области и др.). Примером последней является постоянно действующая модель гидрогеологических условий территории Москвы, реализованная в ПГО "Центргеология" в рамках гидрогеологического мониторинга Москвы. Модель была построена на основе ретроспективного анализа геологической среды всего Московского столичного региона и в ней учтены различные функциональные связи между всевозможными процессами и формирующими их факторами как внутренними, так и внешними по отношению к выделенным на территории Москвы бассейновречным литосистемам. В модели, согласно И.В. Батуриной и Ю.О. Зеегоферу, реализована серия взаимосвязанных блоков:

"инфильтрационный" — характеризующий граничные условия на поверхности земли (источники);

"карбонатное равновесие" — описывающий состояние карбонатной системы в подземных водах с позиций термодинамики и характеризующий равновесие процессов растворения и кристаллизации;

"кинетический" — характеризующий кинетику этих процессов;

"тепломассоперенос" — описывающий неравновесные процессы в зонах активного водообмена;

"гидродинамический" — характеризующий геофильтрационные процессы;

"глубокие водоносные горизонты" — описывающий процессы переноса на нижней границе выделенных водообменных литосистем;

"геохимический термодинамический барьер" — характеризующий смену условий в зонах разгрузки подземных вод (стоки).

Каждый из этих блоков представлен конкретными моделями разного уровня формализации в зависимости от имеющейся к данному времени информации по объекту исследований, а также теоретической и экспериментальной обоснованностью методов моделирования. В рамках мониторинга геологической среды ПДМ дает возможность "проиграть" на основе факторной модели конкретные ситуационно-прогнозные задачи, часто возникающие, например, при эксплуатации системы городского хозяйства Москвы и принять на их основе управляющие решения или выдать соответствующие рекомендации эколого-геологического содержания.

В качестве региональных постоянно действующих моделей выступают обычно картографические ПДМ крупных регионов в масштабе 1:100 000 или 1:500 000, методика функционирования которых заключается в возможности в ходе мониторинга постоянного уточнения различных условий и факторов развития геологической среды с последующим их автоматическим картографированием. По существу такие картографические ПДМ представляют собой автоматизированный картографический комплекс, выпускающий “дежурные” карты геологической среды.

Для мониторинга локального и детального уровня разрабатываются картографические ПДМ более крупных масштабов — от 1:500 до 1:10 000. Такие модели используются для мониторинга территорий гидроузлов и крупных водохранилищ, крупных горнорудных предприятий и месторождений полезных ископаемых, городских агломераций и т.д. Картографические ПДМ в этих случаях сопровождаются и различными имитационными (натурными или математическими) постоянно действующими моделями, позволяющими изучать закономерности развития карста, активизацию оползневых процессов, подтопление и т.д. Такие ПДМ имеют комплексный характер и сложную структуру. В частности, для создания ПДМ различных экзогенных процессов, устойчивости склонов и откосов применяются методы статистической теории надежности с использованием метода конечных элементов (МКЭ) наряду с традиционными методами детерминированного и вероятностного моделирования. Причем соотношение между вероятностными и детерминированными методами моделирования зависит от масштаба модели: в мелкомасштабных преобладают вероятностные методы, в крупномасштабных — детерминированные. Примерами таких ПДМ локального и регионального уровня являются ПДМ “Оползни северо-западного побережья Черного моря”, созданная в Одесском государственном университете под руководством И.П. Зелинского, многоуровневая ПДМ “Крым” по оползням Южного берега Крыма, созданная во ВСЕГИНГЕО, и др.

Многоуровневые ПДМ в системе мониторинга обычно содержат три подсистемы или модельных блока, отличающихся уровнем моделирования и связанных друг с другом. ПДМ первого уровня, являющаяся региональной ПДМ, контролирует обычно всю изучаемую территорию и обеспечивает решение региональных вопросов прогнозирования. Отдельные таксоны на ней выделяются по типовым разрезам и временным зонам, устанавливаемым на основе анализа воздействующих природных и техногенных факторов. Она строится на базе вероятностных методов моделирования с использованием гармонического и регрессионного анализа и

реализуется в виде картографических моделей масштаба 1:200 000–1:100 000. ПДМ этого уровня имеет собственный пакет программной поддержки.

ПДМ второго уровня создаются для отдельных эталонных участков, характеризующих какой-либо характерный для данной территории процесс или явление. Они выполняют функции локальных моделей и реализуются как в форме картографических (масштаба 1:25 000), так и в форме образных графических моделей, имитирующих тот или иной процесс. Они строятся на базе смешанных вероятностно-детерминированных методов моделирования и также имеют свой пакет программной поддержки. ПДМ второго уровня являются блоком первичной обработки информации для модели первого уровня.

ПДМ третьего уровня характеризуют детальные участки и проявление процессов и явлений на наблюдательных полигонах и площадках в масштабе от 1:500 до 1:10 000. Они строятся в основном на базе детерминированных методов моделирования и работают на основе поступающей из АИПС первичной информации по результатам режимных стационарных наблюдений за конкретным процессом. Обработанная в ПДМ этого уровня информация поступает затем в ПДМ второго уровня для решения задач локального моделирования.

Решение вопроса о сложности моделируемых объектов разных уровней, являющегося основным при выборе имитационных процедур, в существенной мере зависит от совершенства систематики внутренних и внешних взаимоотношений между отдельными звеньями процессов. В этой связи в последнее время в инженерной геологии и гидрогеологии усиливаются тенденции применения в качестве базовых моделей (на основе которых возможно рациональное последовательное усложнение моделей в целом) таких, которые описывают водо- и теплообмен, точнее — моделей темпломассопереноса. Их построение осуществляется и на базе методов термодинамики (равновесной и неравновесной). В этой тенденции отражается осознание водо- и теплообмена как главного фактора, определяющего характер взаимосвязей в иерархии природных систем. Привнесение в геологическую среду факторов техногенеза не меняет присущих ей законов переноса и трансформации вещества и энергии. Оно лишь модифицирует условия проявления соответствующих процессов, а также их следствия. Поэтому согласно физико-геологическому подходу вопрос учета техногенных факторов в имитационном прогнозном моделировании легко решается, если представить их в качестве привнесенных в естественную систему новых граничных и внутренних условий протекания процессов.

Использование ПДМ в системе управления (см. гл. 6) имеет, согласно концепции ее создания, определенную этапность. Прежде

всего оно сразу обеспечивается после создания комплекса региональных моделей, например, геофильтрации или влагопереноса (тепломассопереноса), поскольку вопрос рационального использования водных ресурсов, а также регулирования изменений уровня режима подземных вод является одним из основных при подготовке долгосрочных перспективных планов, а также при обосновании проектов конкретных ПТС. На этом же этапе могут осуществляться и прогнозные оценки проявления более сложных геологических и инженерно-геологических процессов, в частности тех, чей механизм во многом определяется гидрогеологическими условиями. В дальнейшем по мере работы системы мониторинга и накопления данных эффективность прогнозов на базе ПДМ повышается, увеличивается их точность.

В связи с этим важное значение для ПДМ в системе мониторинга геологической среды имеет использование адаптивных методов моделирования, базирующихся не только на анализе ретроспективной информации (ретроспективные модели), но и на анализе вновь поступающей текущей информации, позволяющей наиболее эффективно учесть временную и пространственную статистическую неоднородность характеристик геологической среды. Такие адаптивные модели, учитывающие временную неоднородность геологических признаков, связанную с трендовыми и сезонными составляющими, с вновь поступающей информацией реализованы в настоящее время во ВСЕГИНГЕО для моделирования и прогнозирования ряда экзогенных процессов и характеристик геологической среды.

Важно добавить, что эффективность функционирования ПДМ, начиная с раннего ее этапа, в существенной мере зависит от подготовленности блока оптимизирующих моделей, используемых в рамках осуществления нормативных прогнозов и рационализирующих выбор наиболее целесообразных предложений по охране и рациональному использованию геологической среды данной территории. Относительно слабая разработанность таких моделей вообще и в системе мониторинга в частности и вместе с тем острая необходимость их применения для организации надежных связей прогнозных исследований с плановыми позволяет считать разработку ПДМ первоочередной задачей.

На основе осуществленных прогнозных решений затем могут разрабатываться рекомендации по инженерной защите территории или приниматься управляющее решение по изменению режима ПТС. Можно уверенно сказать, что в ближайшем будущем роль ПДМ во всей системе планирования и управления будет постоянно возрастать. В ближайшей перспективе развитие ПДМ геологической среды должно обеспечить все основные задачи управления и рационального использования ресурсов, принадлежащих, по существу, всем основным системам, образующим

“наземную” часть ландшафтной оболочки. Реальность такой перспективы ощущается уже на первых этапах создания ПДМ в связи с реальной возможностью оценки влияния изменений уровня поверхности грунтовых вод и режима влаги в ненасыщенной зоне на растительные сообщества, а также на сток речных систем. Комплексование и соединение ряда постояннодействующих моделей различных элементов геологической среды позволит создать региональные и глобальные модели гидролитосферы, а их соединение с моделями других сфер (ландшафтными, биоценоотическими и т.д.) позволит приблизиться к прогнозному моделированию глобальных процессов в биосфере и техносфере.

Кроме того, ПДМ может использоваться в системе мониторинга геологической среды и для решения вопросов, не связанных с инженерной защитой и управлением. К ним относятся проблемы рационального планирования инженерно-хозяйственных предприятий и комплексов в пределах территорий и др.

5.3. ВИДЫ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Одной из основных целей мониторинга геологической среды является прогноз ее изменения в зависимости от характера и вида техногенного воздействия. Возможность такого прогноза, предсказания последующих изменений геологической среды обусловлена ретроспективными наблюдениями, накапливаемыми в ходе мониторинга. Прогноз изменения геологической среды — это научно обоснованное предсказание тех изменений, которые могут произойти в геологической среде в будущем в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека или естественного хода развития природы, выполненное на основе информации, накопленной к настоящему времени. Методы инженерно-геологического прогнозирования различных процессов изложены в соответствующей методической литературе и основополагающих работах Л.Б. Розовского, Н.В. Коломенского, Г.К. Бондарика, В.К. Епишина, В.Н. Экзарьяна, М.А. Шубина, В.А. Мощанского и др.

Различают несколько видов прогнозов, которые разрабатываются для различных целей в инженерной геологии, гидрогеологии и геокриологии и используются в мониторинге геологической среды. Универсальная общепринятая классификация прогнозов вообще и прогнозов изменения геологической среды в частности пока отсутствует. В общем случае, по В.А. Мощанскому и Г.К. Бондарнику, можно различать следующие виды прогнозов:

по их содержанию: ретроспективные (экстраполяционные), поисковые, нормативные, качественные, полуколичественные и количественные;

по методу прогнозирования: экспертные, аналоговые, сравнительно-геологические или историко-геологические, расчетные (математические, в том числе вероятностно-статистические) и экспериментальные;

по отношению ко времени прогнозирования: срочные, бессрочные, безотносительные ко времени;

по отношению к пространству: глобальные, региональные, локальные, детальные;

по отношению к охвату инженерно-геологических и гидрогеологических условий: общие, частные, поэлементные, комплексные или интегральные.

Что касается использования перечисленных видов прогнозов в системе мониторинга геологической среды, то большинство из перечисленных видов так или иначе применяется при мониторинге. Однако чаще всего (и это обусловлено собственно возможностями системы самого мониторинга) в мониторинге геологической среды используется или разрабатывается ретроспективный или экстраполяционный прогноз изменений геологической среды. Для систем мониторинга разного уровня (ранга) разрабатываются прогнозы соответствующего уровня: региональный прогноз — предсказанные изменения геологической среды крупных территорий с комплексной техногенной нагрузкой; локальный прогноз — предсказанные изменения геологической среды территории определенного хозяйственного комплекса; детальный прогноз — предсказанные изменения геологической среды территории отдельного сооружения или объекта.

В зависимости от содержания прогнозов в системе мониторинга применяются: **ретроспективный** (или экстраполяционный) — прогноз будущих состояний системы на основе анализа тенденций (трендов) ее прошлого развития; **поисковый** — предсказание возможного состояния объекта прогнозирования в будущем на основе изучения тенденций развития в прошлом и настоящем; **нормативный** — определение путей и сроков достижения заранее намеченных состояний объекта прогнозирования в будущем, принимаемых в качестве цели. Нормативный прогноз, в сущности, представляет собой программу действий, которая строится не от достигнутого, а от желаемого. Он наиболее рискован в силу сложных взаимоотношений между желаемым и возможным. Между тем при тоталитарных режимах, как правило, признается исключительно этот вид прогнозирования, что естественно приводит к огромным издержкам. Нормативный прогноз реалистичен лишь в том случае, если он опирается на общие закономерности развития, а используется в том числе и для

планирования мероприятий по реабилитации территорий, очистке геологической среды от загрязнений, рекультивации.

В зависимости от временного интервала прогнозирования прогнозы, используемые в системе мониторинга геологической среды, также весьма различны. В нормативных документах четко регламентируется период упреждения для различных временных прогнозов: оперативный, краткосрочный, среднесрочный, долгосрочный, дальнесрочный — прогнозы с периодом упреждения для различных объектов соответственно: до 1 месяца, от 1 месяца до 1 года, от 1 года до 5 лет, от 5 до 10 лет, свыше 10 лет. Практика инженерно-геологического прогнозирования показывает, что сами прогнозы также во времени должны обновляться. Необходимость непрерывного обновления и адаптационного осуществления прогнозов применительно к ПТС обусловлена неизбежной изменчивостью во времени как природных условий, так и техногенных воздействий. Последние во времени меняются особенно интенсивно в силу экономических, технологических, экологических причин и др. Меняются во времени и информационные представления о ПТС: чем дольше работает система мониторинга, тем полнее и оптимальнее информация для прогноза с учетом новых обстоятельств. Тем самым устанавливается гибкая информационная связь прогнозов с планами и техническими проектами, когда результаты прогнозирования оперативно используются в процессе принятия решений, а последние в свою очередь всесторонне используются для корректировки прогнозов. Безусловно, реализация этих важнейших принципов особенно эффективна в условиях имеющегося на данной территории мониторинга геологической среды.

Если в ходе мониторинга прогноз проводится для какого-либо отдельного процесса или компонента геологической среды, то он называется **частным** (поэлементным) и, напротив, **интегральный** (комплексный) — прогноз на основе частных прогнозов с суммарной оценкой прогнозируемых изменений геологической среды. В системе мониторинга разрабатываются оба этих вида.

В системе мониторинга основной целью разработки прогноза изменения геологической среды или ПТС является вероятностное (качественное и количественное) описание возможных изменений геологической среды (ПТС) под влиянием различных видов воздействия на нее, обусловленных существующей или проектируемой техногенной нагрузкой. Прогноз изменения геологической среды в системе мониторинга является составной частью исследований по оценке воздействия на окружающую среду и предшествует собственно ее разработке (в том числе и оценке воздействия на

геологическую среду). Прогноз разрабатывается на основе проработки комплекса всей ретроспективной информации о геологической среде и ее изменениях, на основе моделирования, в том числе с использованием ПДМ, прогнозных карт для какой-либо территории, объекта или комплекса и на определенный срок. Он должен учитывать воздействие различных видов техногенной нагрузки на геологическую среду, изменения которой происходят как за счет антропогенеза, так и за счет естественного хода развития природы.

Особую роль в составлении прогнозов играют устанавливаемые в ходе многолетнего мониторинга тенденции и закономерности изменения тех или иных параметров и показателей различных элементов геологической среды. Их ретроспективный анализ, сравнение с фоновыми режимными характеристиками и позволяет в конечном итоге дать наиболее обоснованное заключение о прогнозе развития тех или иных изменений в геологической среде. На основе режимных и других длительных наблюдений в системе мониторинга различными математическими методами строятся графики изменения тех или иных показателей геологической среды. Обработка этих графиков заключается в экстраполяции кривых на прогнозируемый период времени исходя из сохранения на прогнозируемый период сложившихся тенденций изменения геологической среды. В случае противоречивых тенденций или значительной неопределенности в их развитии экстраполяционный прогноз дается в нескольких вариантах. Наилучший вариант выбирается экспертной комиссией.

В принципе каждый прогноз должен сопровождаться оценкой точности и надежности данного прогноза, т.е. его **верификацией**. Верификация составляется на основе анализа достоверности исходной информации и ее полноты, адекватности выбранной модели конкретный ПТС и используемым при моделировании методам, соответствия выбранной модели и продолжительности расчетного периода упреждения и т.д. Верификация в итоге осуществляется при сопоставлении прогнозных оценок с их реализацией. Для количественной оценки результатов такого сопоставления используется коэффициент или критерий сходимости (K_c), который рассчитывается по формуле

$$K_c = N_{\phi} / N_{\pi},$$

где N_{ϕ} и N_{π} — соответственно, значения фактических (натурных) и прогнозных изменений компонентов геологической среды. Категоризация условий сходимости прогнозов может быть дана на основе шкалы, предложенной Э.В. Мавляновым (1988), и показанной в табл. 16.

В связи с низкой достоверностью прогнозов или получением новой информации, а также изменившимися условиями и интенсивностью техногенного воздействия на геологическую среду

*Категории достоверности прогнозов
(по Э.В. Мавлянову, 1988)*

Категория достоверности	Критерий сходимости, Кс
1. Достоверный (хороший)	0,8-1,2
2. Удовлетворительный	0,5-0,8 и 1,2-1,5
3. Неудовлетворительный	< 0,5 и > 1,5

проводится корректировка прогнозов. Она осуществляется на ПДМ или на других моделях при соответствующем дополнении входной информации.

Система мониторинга и ее прогнозные возможности могут с успехом использоваться и для составления различных проектов. Степень достоверности разрабатываемых прогнозов зависит от длительности функционирования данной системы мониторинга и стадии разработки оценки техногенного воздействия на геологическую среду. Так, для стадии предварительной оценки разрабатываются региональные прогнозы на длительный срок. Для проектируемых объектов (комплексов) на предпроектной стадии разрабатываются аналогичные прогнозы, но для сравнительно ограниченной площади, попадающей в зону возможного влияния проектируемого объекта. Но и в этом случае должно учитываться влияние всех уже существующих источников воздействия, по возможности с выделением роли проектируемого объекта.

На стадии проекта разрабатываются локальные и детальные прогнозы применительно к проектам отдельных предприятий и комплексов для территории их возможного влияния на геологическую среду с учетом характера проектируемой деятельности. При этом предполагается, что в процессе эксплуатации предприятия или комплекса в целом должны разрабатываться и краткосрочные и оперативные прогнозы. Такие локальные и детальные прогнозы применяются, как правило, на фоне региональных прогнозов с максимальным использованием различных видов режимных наблюдений в рамках экологического мониторинга, методов моделирования и аналитических.

При разработке оценки воздействия на геологическую среду на стадии предварительных исследований составляются, как правило, региональные, поисковые (не имеющие утвержденного плана или проекта развития), преимущественно качественные или полуколичественные, долгосрочные комплексные прогнозы. На этой стадии, как правило, нет достаточно надежных и полных данных по мониторингу. На основной, проектной стадии разработки оценки воздействия на геологическую среду должен использоваться весь

комплекс прогнозов, включая частные, обеспечивающий решение поставленных задач по тематической направленности, по срокам прогнозирования и по степени его обоснованности. В ряде случаев, когда проект и рассматриваемые в нем варианты еще не имеют официального утверждения, прогнозы могут оставаться поисковыми, а следовательно, многовариантными.

Таким образом, разработка прогноза изменений геологической среды в рамках мониторинга базируется на анализе всей режимной информации, всех видов наблюдений, данных ПДМ, на комплексе оценочных и прогнозных карт, а также карт техногенной нагрузки с учетом их легенд и экспликаций. Этот комплекс включает в себя как покомпонентные (частные), так и обобщающие (синтетические) карты. Чем дольше функционирует система мониторинга, тем надежнее и точнее прогноз.

Именно столь представительный количественный и графический информационный блок дает возможность составления не только пространственной картины прогноза, но и дать количественное наполнение. В прогнозе все ожидаемые изменения геологической среды доводятся до конкретных физических величин с указанием динамики их развития. Например, прогноз формирования провалов или оседания земной поверхности над горными выработками оценивается в площадях и скорости развития с установлением конечных объемов или амплитуд смещения и т.д.

Следует добавить, что при техногенном воздействии на глубинные зоны геологической среды и организации ее мониторинга разработка прогнозов отличается определенной спецификой, как правило, обусловленной недостатком информации, сложностью и многофакторностью развивающихся там процессов. К таким случаям можно отнести: развитие депрессионных воронок, обусловленных шахтным водоотливом во взаимодействии с крупными водозаборами; истощение или загрязнение основных водоносных горизонтов, используемых для водоснабжения в зоне влияния горных разработок и нефтепромыслов; закачку промстоков или других жидких и газообразных веществ в глубокие поглощающие горизонты; нарушение температурного режима подземных вод и т.п. Все эти вопросы требуют повышенного внимания при организации мониторинга, особо тщательной проработки и оценки, так как негативные эколого-социальные последствия могут проявляться через долгий промежуток времени и зачастую вдалеке от места самого техногенного воздействия.

В системе мониторинга основным методом прогнозирования является использование ПДМ в прогнозных целях, а также ретроспективный анализ. Однако при этом используются и различные другие методы прогнозирования. Большинство видов

частных (оценочных) прогнозов имеет вероятностную природу, в результате чего и сам комплексный (суммарный, интегральный) прогноз изменения геологической среды в системе мониторинга приобретает в значительной степени вероятностный характер, что требует оценки вероятности ошибок. Для этого при обработке первичных и промежуточных материалов мониторинга геологической среды используются общепринятые методы теории вероятностей, статистические или стохастические модели и методы обработки фактического материала. В настоящее время в инженерной геологии и смежных областях используется более ста видов различных методов прогнозирования; по каждому из них имеются нормативные документы или методические рекомендации, а также монографии. Поэтому рассматривать здесь методы прогнозирования специально нет необходимости.

Таким образом, при составлении прогнозов в системе мониторинга используется широкий комплекс методов. Как правило, сложность вопроса заключается в выборе наиболее надежного и наиболее целесообразного метода прогнозирования из числа методов, рекомендуемых для того или иного вида техногенного воздействия или процесса. Более того, во многих случаях использование только одного какого-либо метода представляется недостаточным и требуется использование комплекса методов прогнозирования. Особенно это относится к стадии предварительных оценок или предварительных проработок, а также на начальной стадии функционирования мониторинга, когда имеющихся исходных данных явно недостаточно для разработки конкретных расчетных (количественных) прогнозов, и исполнитель работы вынужден прибегать к использованию, например, метода экспертных оценок (прогнозов) совместно с методом аналогий и т.п.

5.4. ПРОГНОЗНЫЕ КАРТЫ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

В ходе функционирования мониторинга геологической среды локального или регионального уровня для ОВГС фиксируются различные изменения, происходящие на той или иной территории. Поскольку подавляющее большинство прошедших, настоящих и будущих изменений геологической среды имеет пространственный характер, то они могут быть пространственно отображены на картах измененности геологической среды и прогнозных картах. Прогнозное картографирование является эффективным, но еще недостаточно разработанным методом ОВГС. Для оперативного прогнозного картографирования в структуре мониторинга используются различные системы автоматизированного

проектирования (САПР) и автоматизированного картографирования.

Прогнозное картографирование позволяет рассматривать одновременно большую группу взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов и явлений, чем обеспечивается системный подход к исследованию техногенных изменений геологической среды. Хотя прогнозные картографические оценки в рамках ОВГС дают преимущественно качественные результаты и выявляют лишь тенденции изменений в пространстве (статические карты) или во времени (динамические, дежурные карты), осуществляемый с их помощью прогноз строится с учетом различных факторов в условиях недостаточности количественной информации.

Для прогнозного картографирования применяется метод сопряженного анализа карт геологической среды (и ее отдельных элементов) и техносферы (техногенной нагрузки), что делает возможным оценить степень опасности техногенного влияния. Прогнозные синтетические карты и набор обеспечивающих их составление аналитических карт совершенно необходимы при создании ПДМ территорий в системе мониторинга геологической среды. Для составления аналитических прогнозно-оценочных карт может использоваться методика пространственного прогнозирования опасных ЭГП, разработанная А.Л. Ревзоном по данным дешифрирования космических фотоснимков. Пример такой карты показан на рис. 35.

В рамках системы мониторинга прогнозные карты изменения геологической среды составляются по тем же методикам и в тех же модификациях, что и карты измененности геологической среды (см. гл. 4) в следующих возможных случаях:

изменение геологической среды происходит только под влиянием ныне действующих (существующих) источников техногенного воздействия;

изменение геологической среды происходит и будет происходить под влиянием как действующих, так и проектируемых источников техногенного воздействия;

изменение геологической среды будет происходить под влиянием только проектируемых источников техногенного воздействия.

При существующей сети мониторинга первый случай прогнозного картографирования изменений геологической среды решается наиболее просто. В двух других задача сложнее. Во всех указанных случаях, согласно В.А. Мощанскому и Д.Г. Зилингу, сначала составляются поэлементные прогнозные карты, т.е. карты развития того или иного процесса или вида воздействия. Количество и состав таких карт не регламентируется и определяется исполнителем исходя из наличия и значения того или иного прогнозируемого процесса с экологических позиций, а также характером и интенсивностью

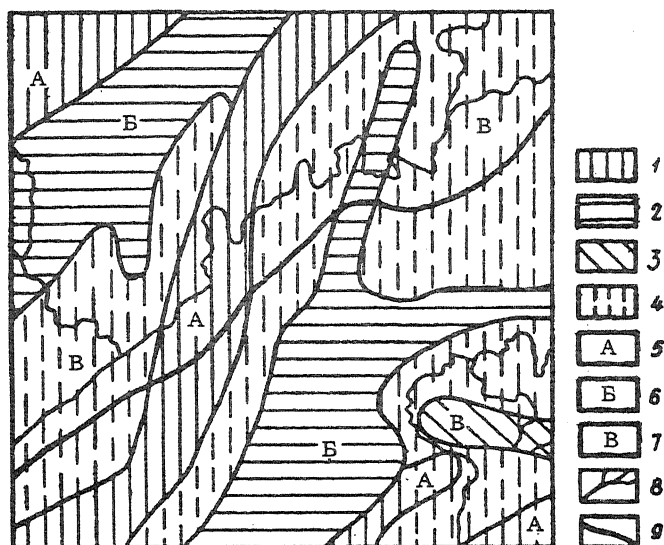


Рис. 35. Фрагмент карты вероятностного прогноза развития суффозионно-просадочных явлений по одному из вариантов трассы проектируемого канала (Южно-Тургайская впадина). Районы с различной вероятностью развития суффозионно-просадочных явлений; степень тектонической раздробленности: 1 — очень сильная; 2 — сильная; 3 — слабая; 4 — практически нераздробленные территории. Пораженность территории суффозионно-просадочными явлениями: 5 — очень сильная; 6 — сильная; 7 — слабая; 8 — гидросети; 9 — трасса канала (по А.Л. Ревзону, 1992)

источника воздействия. Как правило, такие карты составляются на определенный (прогнозируемый) период времени, оговоренный в техническом задании на оценку воздействия на геологическую среду или на прогноз. Это относится и к карте интегрального (суммарного) прогноза.

Все прогнозируемые изменения геологической среды выражаются, в зависимости от принятой методики, либо через коэффициент площадной пораженности и степень измененности геологической среды, либо путем выражения степени измененности геологической среды на основе принятия критериев оценки в оценочном варианте. Все эти подходы рассмотрены выше при описании методики составления карты измененности геологической среды (см. гл. 4).

Имея прогнозные поэлементные или интегральные карты изменений геологической среды, можно существенно улучшить организацию наблюдательной сети мониторинга. Более того, опираясь на перманентные прогнозные карты, наблюдательная сеть (СППИНФ), как и расположение наблюдательных полигонов, ключевых и опытных участков, должны корректироваться и уточняться.

Учет ожидаемых изменений геологической среды осуществляется на основе принятой градационной шкалы степени измененности, которая должна быть единой для всех критериев оценки или видов техногенного воздействия. Разница в составлении поэлементных и интегральной карт прогноза состоит только в том, что на первых отражаются изменения геологической среды под влиянием какого-либо одного вида воздействия (процесса), а на второй — их суммарное воздействие через соответствующие коэффициенты.

При составлении поэлементных прогнозных карт следует пользоваться нормативными документами и методическими разработками по прогнозированию того или иного вида воздействия или процесса. В кратком изложении большинство из них содержится в действующих инструкциях по инженерно-геологическим и гидрогеологическим съемкам. Шкалы градуировки интенсивности проявления процесса или вида воздействия по степени измененности геологической среды могут быть индивидуальными в каждом конкретном случае разработки прогноза, но всегда должны соответствовать таковым на составленных картах измененности геологической среды. Последняя является основой, на которую наносятся прогнозные оценки, что обеспечивает получение информации о приращении или снижении степени измененности геологической среды и ее компонентов в результате проектируемого вида воздействия.

При построении прогнозных карт существующие источники или виды воздействия переносятся с карты антропогенной нагрузки, а для второго и третьего случаев (см. выше) дополняются проектируемыми объектами. При сильной загруженности основной карты измененности геологической среды или прогнозной карты антропогенная нагрузка (существующая или проектируемая) может быть отражена в виде карты-накладки.

Таким образом, следуя В.А. Мощанскому и Д.Г. Зилингу, в системе мониторинга могут быть рекомендованы два варианта составления прогнозных карт изменений геологической среды. Первый — предусматривает сложение измененности геологической среды, отраженной на двух картах: измененности геологической среды и прогнозных изменений геологической среды в результате деятельности уже существующих источников воздействия или существующих и прогнозируемых. В итоге составляется одна карта, которая дает ответ на вопрос о степени измененности геологической среды на конец прогнозируемого периода. Второй вариант предусматривает раздельное использование карты измененности геологической среды и карты прогноза изменений геологической среды, выносимой на кальку-накладку к первой карте. Он позволяет оценить динамику и величину изменений геологической среды за проектируемый период.

При необходимости оба варианта могут быть реализованы в едином документе (отчете).

Все составленные в системе мониторинга прогнозные карты, как поэлементные, так и сводные (интегральные) являются основой для разработки собственно прогноза изменения геологической среды под влиянием существующей или проектируемой антропогенной нагрузки и составляют, в свою очередь, основу оценки воздействия на геологическую среду, и в результате этого используются также для совершенствования, уточнения, оптимизации и реорганизации наблюдательной сети мониторинга.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ГЛ. 5

1. Какие виды моделирования наиболее приемлемы в системе мониторинга геологической среды?
2. С какой целью моделирование применяется в системе мониторинга?
3. Что такое модель “черного ящика”? Каковы ее преимущества и недостатки?
4. В чем особенность применения в системе мониторинга статических и динамических моделей ПТС?
5. Что такое “полнота модели” и каковы основные условия ее соблюдения?
6. Нарисуйте принципиальную модель состава и структуры какой-либо подсистемы геологической среды (подземных вод, рельефа и др.).
7. Какая модель называется прогнозной?
8. Каковы основные черты постоянно-действующей модели (ПДМ) в системе мониторинга геологической среды?
9. Какими факторами определяется режим работы ПДМ?
10. Какие бывают виды прогнозов изменения геологической среды?
11. Какие основные методы прогнозирования используются в системе мониторинга геологической среды?
12. Какую информацию содержит прогнозная карта изменений геологической среды?

Глава 6

УПРАВЛЕНИЕ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА

6.1. ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

В системе мониторинга управление представляет собой заключительную цепь функциональных процедур. Под управлением обычно понимается целенаправленное воздействие на какую-либо систему, обеспечивающее получение определенных результатов, поддержание нужных режимов функционирования, а также сохранение и развитие структуры системы. В широком смысле управление — это общая функция сложных организованных систем, направленная на достижение должного состояния в самой системе или окружающей ее среде. В общем виде свойства различных объектов как составных частей системы управления, а также свойства самих систем управления рассматриваются в теории управления — кибернетике.

Одним из основных понятий в кибернетике является “информация”. Хранение, переработка, передача и преобразование информации происходят во всех системах управления, в том числе и в блоке управления системы мониторинга геологической среды, а законы существования и преобразования информации объективны.

Говоря об управлении вообще, всегда выделяют объект управления, состоянием или функционированием которого нужно управлять, и цель управления, т.е. желаемое состояние или характер функционирования объекта управления. Для надлежащего управления всегда требуется информация как о цели управления, так и о расхождении действительного состояния объекта управления с желаемым. На основании переработки этой информации как раз и вырабатываются соответствующие управляющие воздействия, реализация которых должна перевести объект в надлежащее состояние. Таким образом, процессы получения информации об объекте, ее переработки, нахождения управляющих воздействий и обеспечение их реализации составляют основу управления. Следовательно, управление — это целенаправленный процесс, связанный с выбором наилучшего действия, способа, метода, тактики и стратегии, ведущих к достижению цели наилучшим образом с точки зрения установленного критерия. Отсюда проблема

выбора критерия управления является одной из центральных в кибернетике.

Поскольку геологическая среда не является полностью саморегулирующейся системой, отсюда следует, что она нуждается в управлении. Цель любой функциональной системы, в том числе и ПТС, состоит в обеспечении собственного устойчивого существования. Таким образом, система работает не только и не столько на настоящее, сколько на будущее. Все ее структурные компоненты подчинены этой цели. В общем виде применительно к проблеме охраны геологической среды цель состоит в замене антагонистических отношений между геологической средой и техносферой человеческого общества на отношения дополнительности, при которых общественная система стабилизирует, а не разрушает природу. В социально-экономическом плане цель этого управления определяется тем, что изменения геологической среды могут прямо или косвенно (например, влияя на использование природных ресурсов и здоровье населения) нарушить условия функционирования хозяйственных систем, а это в свою очередь может привести к значительным социальным и экономическим потерям.

Отсюда главной целью и критерием управления природно-техническими системами (ПТС) следует считать минимизацию неблагоприятных последствий изменений геологической среды и ее компонентов при одновременной минимизации затрат на создание или поддержание ее состояний, благоприятных для хозяйствования и жизнедеятельности людей. Человеческая деятельность, соответствующая достижению этой цели, определяется как рациональное использование и охрана геологической среды.

В соответствии с этим конечной целью мониторинга геологической среды и является управление природно-технической системой путем регулирования режима ее работы, осуществляемого на базе прогнозирования ее развития, а там, где это невозможно, — создание системы инженерной защиты, предотвращающей или снижающей интенсивность развития тех или иных негативных инженерно-геологических процессов. При неблагоприятном прогнозе характерных для данного вида или комплекса техногенных воздействий инженерно-геологических процессов и явлений возникает необходимость выбора наиболее рациональных способов обеспечения устойчивости и нормальной эксплуатации сооружений или ПТС в целом. К их числу относятся: инженерно-строительные (конструктивные) мероприятия, направленные на ослабление или видоизменение внешнего воздействия на геологическую среду, борьбу с проявлениями нежелательных инженерно-геологических процессов; методы технической мелиорации грунтов, которые дают возможность целенаправленно улучшать физико-механические и

фильтрационные свойства определенных участков геологической среды, а также создавать искусственные грунты со свойствами, отвечающими требованиям к строительным материалам различных категорий. Строительство защитных сооружений производят специализированные строительные организации министерств и ведомств федеральных органов власти, система защиты входит непосредственно в структуру мониторинга. Таким образом, средствами управления в мониторинге геологической среды являются: целенаправленное планирование ПТС и проведение инженерно-строительных мероприятий, изменение режима работы ПТС, организация и реализация комплекса природоохранных мер, организация системы инженерной защиты, в том числе и с применением методов технической мелиорации грунтов.

В ПТС определенная доля управляющего воздействия может оказываться и на саму техническую систему регулированием режима ее работы (вплоть до закрытия предприятия, если возникает катастрофическая угроза человеку).

Важнейшим аспектом в управлении является использование для этого возможностей ПДМ. Однако эффективное использование ПДМ в системе территориального или регионального управления требует специальной разработки организационных структур и процедур, обеспечивающих взаимосвязи систем мониторинга с органами управления, а также их финансирования.

Все ПТС функционируют под влиянием не только возмущающих, но и управляющих взаимодействий. Опираясь на данные исследований и расчетов, реализованных в прогнозе, можно уже на стадии планирования и проектирования ПТС предсказать, как будут изменяться ее структура, режим и состояние в период создания (строительства) и функционирования (эксплуатации). На этой основе решается задача оптимизации функционирования ПТС. В период же строительства и эксплуатации ПТС возникает задача ее управления для поддержания оптимального технологического режима работы и оптимизации эколого-геологических задач, связанных с взаимодействием сооружения с геологической средой. Управление природно-технической системой, согласно Г.К. Бондарьку (1990), — это взаимодействие с системой, выбранное на основе соответствующей информации из возможных вариантов взаимодействий, улучшающее в требуемом отношении функционирование ПТС. Управление всегда предусматривает изменение состояния системы, которое достигается в результате изменения управляющих взаимодействий. Последнее осуществляется с помощью так называемых сигналов управления. Они несут сообщения о требуемых значениях управляющих взаимодействий. Эти сигналы вырабатывает управляющее “устройство”, а затем они поступают в исполнительное устройство, которое изменяет управляющие взаимодействия в

соответствии с сигналами управления. Сами же сигналы управления вырабатываются на основании информации о функционировании ПТС. Таким образом, управление какой-либо ПТС возможно только в том случае, если существует информация о состоянии системы, а также имеется блок управления (управляющее и исполнительное устройство), позволяющий изменять управляющие решения. Система мониторинга позволяет получить информацию о состоянии ПТС, а значит и обеспечить оптимальное управление.

Количественное описание ПТС и системы управления в мониторинге геологической среды осуществляется с помощью "переменных" — величин, характеризующих систему и происходящие в ней процессы. К ним относятся и те параметры, которые определяются в схеме СППИНФов, а также параметры, учитываемые в моделях ПТС и в ПДМ. Все они делятся на входные и выходные переменные, а с точки зрения участия в процессе управления переменные делятся на управляемые и управляющие. Значения управляющих переменных выбираются в системе управления мониторинга геологической среды на основе обработки поступившей и поступающей информации о геологической среде, требованиях к ПТС и о желаемых значениях управляемых (выходных) переменных. Управляющие переменные действуют на управляемую (регулируемую) часть ПТС, изменяя значения управляемых переменных в нужном направлении.

В общем виде внешние и внутренние факторы, которыми можно управлять в системе мониторинга геологической среды делятся согласно А.Л. Чеховскому (1989) на три группы: граничные условия, начальные условия и свойства геологической среды. Под граничными понимаются факторы, воздействующие на исследуемую часть геологической среды по ее внешним границам. Под начальными понимаются те же факторы, что и действующие на границах, но рассредоточенные во внутренних точках геологической среды и действующие до начала развития процесса. Под свойствами среды понимаются те характеристики геологической среды, динамика которых изменяет назначаемые характеристики и определяет интенсивность развития инженерно-геологических процессов.

Изменение граничных и начальных условий чаще всего достигается техногенными воздействиями, меняющими физические и физико-механические характеристики исследуемой среды, и как следствие — интенсивность развития инженерно-геологических процессов. Для целенаправленного управления разнообразными характеристиками геологической среды и интенсивностью развития инженерно-геологических процессов в ПТС достаточно обеспечить управление геометрическими границами, термовлажностным режимом, напряженно-деформированным состоянием и физическими

свойствами геологической среды. Для обеспечения эколого-геологических задач необходимо также обеспечить управление химическими и физико-химическими свойствами компонентов геологической среды. Решение этих задач может основываться на применении различных расчетных схем (математических моделей), включающих различные дифференциальные или алгебраические уравнения, а также на основе ПДМ.

В зависимости от поведения переменных величин в процессе управления ПТС различают два режима функционирования ПТС: установившийся (стационарный) и неустойчивый (нестационарный или переходный). Если переменные величины перестают изменяться во времени, то данная ПТС находится в установившемся (стационарном) режиме. Переходный процесс возникает, когда под влиянием управляющих или возмущающих переменных ПТС переходит от одного установившегося режима к другому. Установление типа режима функционирования ПТС является одной из важнейших задач мониторинга геологической среды, поскольку режим ПТС определяет прогноз ее состояния в будущем.

При постановке в ходе мониторинга задачи оптимального управления ПТС необходимо учитывать следующие формальные требования:

- необходимость исчерпывающего описания объекта управления, в данном случае — ПТС (например, математическое описание ПТС);

- наличие полной информации о геологической среде, в которой функционирует данная ПТС (в виде описания всех действующих на ПТС прямых и обратных связей или их статистических характеристик);

- определение цели управления ПТС;

- определение конкретных критериев качества ПТС и геологической среды;

- определение ограничений, которые нельзя нарушать в процессе управления.

Решение задач управления в системе мониторинга геологической среды позволяет подойти и к вопросу об определении допустимых техногенных воздействий на геологическую среду с количественными, а не качественными оценками. При этом допустимыми техногенными воздействиями следует считать те, при которых формирующиеся граничные и начальные условия, а также свойства среды обеспечивают сохранение управляемых инженерно-геологических характеристик ПТС в необходимых пределах, определяемых запросами экологии и целями функционирования данной ПТС.

В идеальном варианте процесс управления ПТС в системе мониторинга должен строиться на базе алгоритмизации. В этом случае возможно создание автоматизирован-

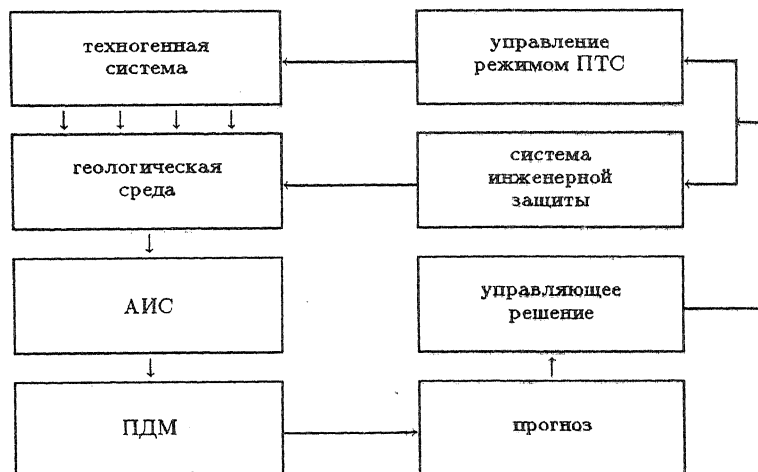


Рис. 36. Схема автоматизированной системы управления в структуре мониторинга геологической среды

ной системы управления (АСУ), схема которой в структуре мониторинга показана на рис. 36. Алгоритмизация управления основана на использовании специальных алгоритмов выбора управляющих воздействий в зависимости от параметров ПТС и геологической среды, их текущего состояния и цели управления. При этом само управление в принципе может осуществляться человеком (оператором) или без участия человека (автоматически). Пока алгоритмизация управления в системе мониторинга геологической среды разработана лишь для некоторых простых типов ПТС, ее совершенствование, как и разработка автоматизированного управления ПТС, является актуальной задачей ближайшего будущего.

Исходной информацией для алгоритмизации управления в системе мониторинга геологической среды служат теоретические представления о ПТС и геологической среде и данные систем наблюдений. Наиболее простой способ выбора управляющих воздействий на ПТС или геологическую среду основан на использовании различных упрощенных моделей ПТС и ПДМ. Роль последних в принятии управляющего воздействия особенно велика (см. разд. 5.1).

6.2. ПРИНЯТИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ РЕШЕНИЙ

Не менее важный аспект в управлении — собственно процедура принятия управляющего решения. К сожалению, в действующей системе мониторинга эта процедура не всегда

может быть формализована или автоматизирована до стадии автоматического принятия решения. Принятие решения или выбор является действием, придающим всей деятельности по управлению ПТС целенаправленность. Именно выбор реализует подчиненность всей деятельности определенной цели или совокупности целей. Процедуре выбора в системном анализе придается очень важное значение и основные его положения могут использоваться и при принятии управляющих решений в мониторинге геологической среды.

Принятие решения — это действие над множеством альтернатив (от alternative — вариант, одна из двух или более возможностей), в результате которого получается подмножество выбранных альтернатив (обычно это одна альтернатива, что необязательно, а иногда и невозможно). Сужение множества альтернатив возможно, если в блоке управления системы мониторинга имеется способ сравнения альтернатив между собой и определения наиболее предпочтительных. Применительно к мониторингу принятие решения означает выбор среди различных альтернативных вариантов такого управляющего воздействия, которое наилучшим образом соответствует выбранным ранее критериям управления ПТС (технологическим, экологическим, экономическим, социальным и др.).

Способ сравнения альтернатив называют **критерием предпочтения**. При этом подразумевается, что в системе мониторинга есть возможность порождения множества различных альтернатив, а также что цели управления ПТС уже определены. Основная сложность при этом связана с множественностью задач выбора (рис. 37), а также тем, что каждая компонента ситуации выбора может реализовываться в качественно различных вариантах:

множество альтернатив может быть конечным, счетным или континуальным;

оценка альтернативы может осуществляться по одному или по нескольким критериям, которые в свою очередь могут иметь как количественный, так и качественный характер;

режим выбора может быть однократным (разовым) или повторяющимся, допускающим "обучение на опыте" (как, например, с помощью ПДМ);

последствия выбора могут быть точно известны (выбор в условиях определенности), иметь вероятностный характер (выбор в условиях риска) или иметь неоднозначный исход, не допускающий введения вероятностей (выбор в условиях неопределенности);

ответственность за выбор может быть односторонней (в частном случае индивидуальной) или многосторонней; соответственно различают индивидуальный и групповой выбор;



Рис. 37. Классификация задач выбора и способов их решения в системе мониторинга геологической среды (по Ф.И. Перегудову и Ф.П. Тарасенко, 1989)

степень согласованности целей при многостороннем выборе может варьировать от полного совпадения интересов сторон (кооперативный выбор) до их противоположности (выбор в конфликтной ситуации). Возможны также промежуточные варианты, например компромиссный выбор, выбор в условиях нарастающего конфликта и т.д.

Различные сочетания перечисленных вариантов приводят к многообразным задачам выбора, которые приходится решать при принятии управляющего решения в системе мониторинга геологической среды. Многие из этих сочетаний еще недостаточно изучены в системном анализе. Основой критериального языка описания выбора в системном анализе является предположение о том, что каждую отдельно взятую альтернативу можно оценить определенным числом и сравнение альтернатив сводится к сравнению соответствующих им чисел.

Например, если x — некоторая альтернатива из множества X , то считается, что для всех x , принадлежащих X , может быть задана функция $q(x)$, которая называется критерием (критериальной функцией, функцией предпочтения, полезности и т.п.) и обладает тем свойством, что если альтернатива x_1

предпочтительнее альтернативы x_2 (обозначают как $x_1 > x_2$), то $q(x_1) > q(x_2)$ и обратно. При этом выбор сводится к отысканию альтернативы с наибольшим значением критериальной функции. Это наиболее простой случай, когда задача выбора имеет однозначное (однокритериальное) решение.

Однако часто в системе мониторинга геологической среды приходится решать весьма сложную задачу выбора, принимая управляющее решение по ряду критериев (экономических, экологических, технологических и др.). Многокритериальные задачи не имеют однозначного общего решения. Поэтому в системном анализе предлагается много разных способов придать многокритериальной задаче частный вид, обладающий единственным решением (см. рис. 37). Естественно, что для разных случаев эти решения оказываются различными. Поэтому едва ли не главное в решении многокритериальной задачи — обоснование именно данного вида ее постановки, того, насколько такая постановка соответствует стоящей перед исследователем проблеме.

Второй, более общий способ описания выбора основан на использовании так называемого языка бинарных отношений. Его большая, по сравнению с критериальным языком, общность основана на учете того факта, что в реальности дать оценку отдельно взятой альтернативе часто затруднительно или невозможно. Однако, если рассмотреть ее не в отдельности, а в паре с другой альтернативой, практически всегда появляются основания сказать, какая из них более предпочтительна. Способ бинарных отношений с успехом может применяться в системе мониторинга в том случае, когда критериальная функция не существует или она неизвестна и трудно выводима. В системном анализе существуют и другие более общие способы описания выбора.

Правильный выбор управляющего решения зависит от правильности анализа действующих факторов. Естественно, что управление ПТС или каким-либо компонентом геологической среды должно осуществляться через управление главным фактором, определяющим данный процесс. В системе мониторинга, как правило, приходится иметь дело с многофакторными данными, получаемыми в ходе режимных наблюдений за параметрами геологической среды и техногенными воздействиями. При этом перед исследователем встает вопрос: какой же из наблюдаемых факторов является ведущим, определяющим поведение ПТС или ход данного процесса? И кроме того, надо выяснить, какой вклад из серии действующих природных и техногенных факторов вносит каждый из наблюдаемых факторов, какой из них наиболее весомый? Ответ на все эти вопросы может быть получен на основе многофакторного корреляционно-регрессионного анализа

данных режимных наблюдений. Рассмотрим это на следующем примере.

На Ангренском буроугольном месторождении, где ведется его отработка глубоким карьером, расположенным ниже горного водохранилища, при одновременной отработке шахты под высокими отвалами и подземной газификацией угля с выработанным пространством оборудована подсистема мониторинга экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов. Под влиянием горных работ и эксплуатации водохранилища в районе разреза активизировались древние и образовались новые оползни, в том числе в одном из бортов углеразреза (Ким, 1988). Наиболее наглядно это выражено на глубоком Загасан-Атчинском оползне скольжения в глинистых отложениях мезозоя-кайнозоя, расположенного у карьерного поля в зоне горного отвода станции подземной газификации углей (ПГУ) и шахты.

Режимные наблюдения в рамках мониторинга ЭГП за комплексом природных и техногенных оползнеобразующих факторов на этом оползне велись начиная с 1974 г. Динамика оползня и графики одновременных режимных наблюдений за рядом техногенных факторов приведены на рис. 38.

Как видно из графиков, визуально очень трудно выявить наиболее значимый техногенный фактор, от которого в наибольшей мере зависит скорость смещения оползня. Для учета одновременного воздействия на оползневой процесс всего ряда факторов и выявления из них наиболее значимого был выполнен корреляционно-регрессионный анализ результатов режимных наблюдений за 1974–1986 гг.

Зависимость скорости смещения оползня от количества атмосферных осадков, уровня подземных вод (УПВ), объема отсыпки контрфорса, подземной газификации (ПГУ), шахтной добычи и расчетной площади карьера была выражена матрицей парных коэффициентов корреляции. Связи рассматриваемых факторов характеризовались разной степенью устойчивости, значения коэффициентов корреляции изменялись от 0,021 до 0,7. Оценка коэффициента корреляции при помощи статистики Фишера свидетельствовала о том, что связь скорости смещения оползня с УПВ, отсыпкой контрфорса, добычей угля шахтой и площадью карьера существенно не отличается от предполагаемого коэффициента корреляции в общей совокупности при 0,01% уровне значимости. Взаимосвязь смещения с ПГУ устойчива при 0,001% уровне значимости, а с количеством атмосферных осадков — только при 0,1%. Взаимосвязь УПВ с атмосферными осадками недостоверна, с отсыпкой контрфорса и ПГУ устойчива при 0,01% уровне значимости, а с шахтной добычей и площадью карьера — при 0,05% уровне значимости, что вполне объяснимо. Отсыпка контрфорса и ПГУ осуществлялась непосредственно на

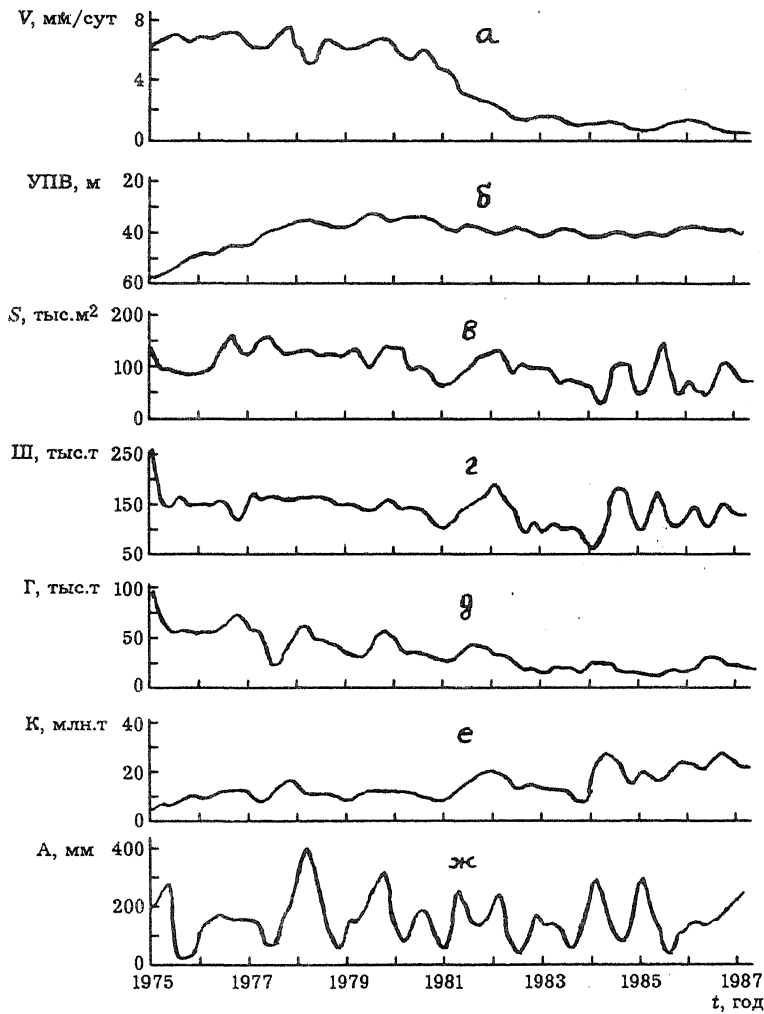


Рис. 38. Графики режимных наблюдений за изменением динамики оползня (V), уровня подземных вод (УПВ), площади карьера (S), производительности шахты (Π), газификации (Γ), объемов отсыпки контрфорса (K) и количества атмосферных осадков (A) на Загасан-Атчинском оползне Ангенского бурогоугольного месторождения (по В.П. Киму, 1988)

площади оползня, а влияние карьера и шахты стало сказываться лишь с 1982–1983 гг. с приближением их к границе оползня. До этого времени коэффициент корреляции между УПВ и площадью карьера не превышал 0,2.

Оценка вкладов перечисленных факторов осуществлялась с использованием пошаговой процедуры по F -критерию. Для

каждого аргумента (фактора) были рассчитаны значения F -критерия, которые составили для атмосферных осадков — 2,12, для УПВ — 9,0, для контрфорса — 8,9, для ПГУ — 39,4, для шахты — 9,2 и вклада карьера — 9,5. Сопоставление вычисленных F -критериев с критическим значением $F_{кр}$ по таблице квантилей распределения Фишера при 5%-ном уровне значимости показала, что вклады анализируемых факторов, за исключением атмосферных осадков, существенны. Атмосферные осадки, для которых $F = 2,12 < F_{кр} = 4,1$, необходимо исключить из набора значимых переменных. Максимальными значениями F -критерия, а, следовательно, и максимальным вкладом характеризовалась подземная газификация угля (ПГУ), которая оказалась наилучшим регрессором. Далее по степени значимости вкладов следовали разработка карьера и шахты. Значения F -критерия для УПВ и контрфорса были близки между собой, что свидетельствовало об одинаковой доли вкладов этих факторов в динамику оползня.

Таким образом, выполненная количественная оценка комплекса оползнеобразующих факторов методом множественной корреляции показала, что динамика Загасан-Атчинского оползня зависит только от уровня техногенного воздействия, в первую очередь от ПГУ, а значит она может быть контролируемой и управляемой в рамках данной ПТС.

Кроме того, на основе выявленных значимых факторов было получено уравнение регрессии зависимости скорости смещения оползня (V) от объема отсыпки контрфорса (K), производительности ПГУ (Γ), шахтной добычи (Π) и площади карьера (S_k), которое имеет вид:

$$V = 0,416K + 0,04\Gamma + 0,01\Pi + 0,02S_k - 7,25$$

при множественном коэффициенте корреляции $R = 0,92$ и среднеквадратичном отклонении полученной связи $G_y = 0,98$. Значения R и G_y свидетельствуют о достаточной надежности полученного уравнения связи, что дает основание использовать его для прогнозных целей.

В статистический анализ был включен временной ряд, заканчивающийся 101-м циклом наблюдений в декабре 1986 г. Прогнозная скорость на 102-й цикл 1987 г. составила 2,84 мм/сут. По результатам режимных наблюдений за 1987 г. была выполнена оценка достоверности прогнозной модели: по данным режимных наблюдений, на 102-м цикле скорость составила 2,19 мм/сут, т.е. ошибка прогноза не превысила 30%. Хорошая сходимость прогноза позволила использовать в дальнейшем разработанную математическую модель для построения ПДМ оползня в системе мониторинга, а также управлять скоростью смещения оползня путем управления режимом подземной газификации угля и другими техногенными факторами.

6.3. ЭКСПЕРТНЫЕ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ И РЕШЕНИЯ

До сих пор шла речь о выборе в системе мониторинга при индивидуальной ответственности за принятие решения. Однако единоличное принятие решения является не единственной формой выбора. Часто в системе мониторинга управляющее решение принимается коллективно.

Один из наиболее распространенных принципов коллективного согласования решений — правило большинства: принятой всеми считается альтернатива, получившая наибольшее число голосов. Правило большинства привлекательно своей простотой и демократичностью, что важно при решении экологических проблем, но имеет свои особенности, требующие осторожного с ним обращения. Прежде всего надо иметь в виду, что оно лишь обобщает индивидуальные предпочтения, и его результат не является критерием истины. Только дальнейшая практика показывает, правильным или ошибочным было решение, принятое большинством голосов.

В силу своей сложности эколого-геологические проблемы чаще всего требуют принятия именно групповых решений по результатам работы мониторинга геологической среды. Потенциально возможности группы шире, чем у самого лучшего аналитика и эксперта в ее составе. Однако с появлением “хора голосов” качество групповых решений резко падает и может оказаться много ниже индивидуального. Решения с наиболее катастрофическими экологическими последствиями выработывались группами, т.е. коллегиально. Коллективный выбор при любом правиле его осуществления сопряжен с риском оказаться в парадоксальной ситуации.

Считается, что окончательные и бесповоротные решения в экологии вообще, а в экологической геологии, в частности, невозможны, поскольку и проблемы, и сами эксперты находятся в развитии. В бурном развитии находятся и все разделы экологической геологии, и научно-методическое обеспечение мониторинга геологической среды. Решения и соответствующие действия изменяют состояние проблемы, теперь уже требующей иных решений. Стиль принятия решений также быстро меняется от поколения к поколению. Получается, что решение — это процесс, тоже нуждающийся в мониторинге.

Примерно с середины 70-х годов в развитых капиталистических странах стала широко использоваться экспертиза различных (особенно крупных) проектов, что было вызвано обострением здесь экологических проблем и пониманием неизбежности дополнительных затрат на природоохранные мероприятия. Был вполне осознан

принцип “легче предупредить, чем лечить”. В дальнейшем необходимость в такого рода исследованиях появилась практически во всех странах, в том числе и в России.

В широком значении экологическая экспертиза включает учет воздействия на окружающую среду, а также процесс оценивания изменений природных условий и ресурсов, прогноз, принятие решения по конкретному объекту. В этом смысле всю систему мониторинга можно считать постоянно действующей экологической экспертизой. Более строгое значение процедуры экспертизы может быть выражено словами “оценка оценки” — изучение проектных материалов и документации на предмет установления степени их соответствия принятым нормам. При этом считается, что в функцию экспертов, как правило, не должны входить изучение объектов и разработка тех или иных сторон проекта, его доработка.

Единой концепции экологических экспертиз пока не существует, хотя в последнее время появляется много работ по этому вопросу, в основном в географических науках. Для многих объектов такой концепцией может выступать концепция геотехнической системы, разрабатываемая географами. В ее основе лежит необходимость выполнения “суперпринципа” — соответствия геоэкологических принципов и норм проектирования современным требованиям эколого-географической экспертизы. При этом наиболее общей методологической основой экологической экспертизы большинства проектов является положение о нереальности прекращения антропогенного воздействия на природу и невозможности в условиях даже малоотходной технологии полного предотвращения загрязнения природной среды и ее частичной деградации. Поэтому пока необходима разработка геоэкологических принципов проектирования геотехнических систем.

Выполнение геоэкологической экспертизы проекта заключается в сравнении прогнозируемых состояний природной среды и отдельных ее компонентов в зоне воздействия с некоторым эталоном. На базе существующей системы мониторинга геологической среды эта задача решается гораздо проще. Выбор критериев для характеристики эталонного состояния геосистемы представляет сложную задачу. Так, это может быть показатель устойчивости геосистемы, ПДК, ПДВ и т.д. В зависимости от конкретной экспертизы могут выбираться различные показатели. Например, для региональной оценки антропогенных поступлений техногенных элементов в объекты геологической среды может быть предложен критерий превышения фонового содержания микроэлементов в подземных водах, почвах и т.п.

Если рассматривается вариант размещения производства, который по своей экологичности превосходит альтернативные по всем

критериям, то задача выбора наиболее предпочтительного варианта решается в этом случае однозначно. Если же рассматриваемый вариант доминирует по одной группе критериев, но уступает альтернативному варианту по другой группе критериев, то выбор предпочтительного варианта может быть осуществлен в случае оценивания сравниваемых альтернатив по всему набору критериев с учетом их важности (выбора веса для критериев).

Сложность этой процедуры заключается в необходимости учета большого числа критериев как количественных, так и качественных, как правило, неаддитивных, имеющих разную размерность, природу и поэтому часто трудносопоставимых. Для этого разрабатываются формализованные процедуры системного анализа, позволяющие устранить несоизмеримость привлекаемых данных и найти оптимальное решение. Чаще всего используются многомерные функции полезности, применение которых дает сопоставимые оценки сравниваемых альтернатив.

В основе выбора оптимального решения лежит предположение, что наилучший вариант тот, которому соответствует максимальная функция полезности (см. разд. 6.2). Для сравнения различных вариантов необходимо построить функцию, характеризующую меру полезности. Так, аддитивная функция полезности представима в виде:

$$F = \sum_{i=1}^n w \cdot U_i,$$

где F — функция полезности; w — весовой коэффициент критерия; U_i — оценка i -й альтернативы. Эта аддитивная функция полезности используется в случае независимости сравниваемых критериев.

Ранжирование объектов традиционно осуществляется с использованием балльных оценок. При этом сравнение критериев ведется с помощью определенной шкалы баллов. В качестве примера может использоваться шкала важности, предложенная Т.Л. Саати (1977). Существуют и другие алгоритмы нахождения количественной меры предпочтений или веса критериев. Большинство из них все же опирается на экспертные оценки, а, в наиболее сложных случаях вычисления веса критериев осуществляются с помощью ЭВМ.

Методы оценок состояния и прогнозирования нарушенности геологической среды используются при анализе цепочки “геологическая среда — техногенные воздействия — изменения — последствия” при различных видах проектирования. Для этого применяются методика ОВГС и методы, рассмотренные в гл. 4. В данной серии методов широко используются методические приемы

геохимии техногенеза, методы ландшафтной и биологической индикации загрязнения геологической среды. С их помощью устанавливаются пространственно-временные нарушения геологической среды и ландшафтов, изменения геохимических характеристик, служащих основой для экологического нормирования техногенных нагрузок на ландшафт. При этом используется матричный метод, метод наложения карт, методы имитационного моделирования и другие возможности, открываемые с помощью системы мониторинга геологической среды.

Перечни типов воздействия, либо списки компонентов природной среды, изменяющихся под техногенным воздействием, служат основой простых и сложных так называемых контрольных листов, также применяемых в экспертизах. На базе контрольных листов разработан ряд причинно-следственных матриц, в частности, матрица Л. Леопольда, предназначенная для оценки воздействия разнообразных проектов и дающая наглядное представление о структуре взаимодействий. Типы матриц различаются в зависимости от специфики рассматриваемых ПТС. Чаще всего они строятся по форме: O (объект) + B (воздействие) = I (изменение). В матрице объекты (компоненты геологической среды) откладываются по горизонтали, виды воздействий — по вертикали, а в клетках соответствующих пересечений указываются происходящие изменения в природных компонентах. Другими примерами типов матриц могут являться:

“виды деятельности + измененные компоненты геологической среды = отрицательные последствия”;

“компоненты, вовлеченные в цепные реакции + измененные компоненты геологической среды = цепные реакции в геологической среде” и т.п.

Современную геоэкологическую экспертизу должны отличать ряд характерных черт и признаков, часть из которых являются обязательными;

комплексный подход к экспертизе проектов, т.е. оценка и учет не только комплекса природно-экологических вопросов, но и социально-экономических, демографических, правовых, политических и психологических;

внимательный анализ проблемных ситуаций;

региональный подход к экспертизе, подразумевающий учет местных природных, социальных, экономических особенностей территории не только в границах конкретных объектов, но и окружающего их фона;

ландшафтный подход, обеспечивающий принцип ландшафтно-территориальной дифференциации проектирования геотехнических систем и хозяйственных объектов;

прогнозирование, подразумевающее чаще всего прогноз развития и изменения природных условий в результате того или иного вида техногенного воздействия;

оценка устойчивости и изменчивости геосистем, которая чаще всего осуществляется одновременно с прогнозированием.

Организационная сторона проведения экологических и геоэкологических экспертиз в России еще не вполне сложилась. Объектами рассмотрения экспертов, как правило, являются технико-экономические обоснования проектов, комплексные схемы развития регионов, отраслей промышленности, рабочие проекты. Для этого в рамках СНГ создается система государственных экспертиз в бывших союзных республиках, автономиях, административных областях, а также в крупных городах (например, в Москве — экспертиза “Москомприроды”). Экологическая экспертиза некрупных и экологически нейтральных объектов в некоторых случаях проводится ведомственными организациями.

В России после создания Минэкологии РФ в его Государственную экологическую экспертизу направляются не только наиболее крупные, но и наиболее экологически опасные и конфликтные проекты. В настоящее время утверждены некоторые документы, определяющие порядок формирования и организации деятельности экспертных комиссий, права, обязанности и ответственность экспертов, общие требования к составу и содержанию документации. Среди них “Инструкция о порядке проведения государственной экологической экспертизы проектов хозяйственной деятельности” (1989) и “Положение об экспертной комиссии государственной экологической экспертизы”. В настоящее время готовится проект закона РФ о государственной экологической экспертизе.

В составе экспертной комиссии (или ее рабочих групп) работают специалисты разных отраслей науки и хозяйства — экономисты, биологи, географы, инженеры-геологи, гидрогеологи, геокриологи, социологи, демографы, медики-гигиенисты, юристы и др. Кроме государственной экологической экспертизы ведомств в последние годы все большее значение приобретает общественная экологическая экспертиза.

6.4. УПРАВЛЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДОЙ МЕТОДАМИ ТЕХНИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ

В настоящее время для активного управления геологической средой в целях защиты сооружений от вредного влияния экзогенных природных и техногенных процессов применяются разнообразные инженерно-строительные и другие специальные мероприятия, главными из которых являются: мероприятия инженерной защиты, а также методы технической мелиорации грунтов. Чаще всего они используются в комплексе, например защита сооружений и территорий от оползней, обвалов и селей проводится путем

уполаживания и террасирования склонов, удаления неустойчивых масс, регулирования поверхностного и подземного стока, применения удерживающих конструкций, фитомелиорации и т.д. В качестве противоэрозионных мероприятий применяют агротехнические и мелиоративные средства борьбы с водной и ветровой эрозией почв, гидротехнические системы для управления процессом линейной эрозии. Для подавления и управления карстовым процессом применяются специфические конструкции, тампонаж закарстованных отложений, укрепление сводов карстовых полостей, организация водоотводов, регулирование гидродинамического, гидрохимического и термического режимов поверхностных и подземных вод, сооружение противofильтрационных завес и другие мероприятия. В качестве противопросадочных мероприятий применяется комплекс водозащитных и конструктивных мер, устранение просадочных свойств грунта его уплотнением и укреплением и т.д. Эти и многие другие инженерно-строительные мероприятия направлены в основном на управление объектами геологической среды.

В настоящее время в технической мелиорации грунтов разработано большое число различных методов, способов, приемов, позволяющих при различном искусственном воздействии на породы решать разнообразные инженерные задачи (см. табл. 3). Методы технической мелиорации в широком смысле являются методами целенаправленного техногенного воздействия на компоненты геологической среды с целью их изменения в нужном направлении. Этим и определяются возможности их использования для целенаправленного управления геологической средой в системе мониторинга.

Согласно С.Д. Воронкевичу (1991, 1993), исходя из основных действующих (преобразующих) факторов, сформировавшиеся к настоящему времени методы и способы технической мелиорации грунтов объединяются в три группы управления геологической средой: гидрогеомеханическая мелиорация (традиционно именуемая как уплотнение и осушение грунтов), геохимическая (или физико-химическая) и геотехническая (армирование грунтов, или геосинтетика) мелиорация. Эколого-геологические возможности и функции различных методов технической мелиорации грунтов формируются в двух направлениях: а) связанное с улучшением и сохранением качества геологической среды как части природного окружения объектов обитания и жизнедеятельности человека в виде промышленных и гражданских сооружений; б) заключающееся в применении принципов и методов в основном физико-химической мелиорации в составе комплекса мер по охране окружающей среды, направленных на предотвращение или ликвидацию попадания в геологическую среду вредных и опасных химических элементов, соединений и микроорганизмов, способных вызвать

нежелательные инженерно-геохимические или медико-биологические последствия.

Первое из этих направлений технической мелиорации грунтов является традиционным в управлении геологической средой. Необходимость в использовании методов данного направления возникает в тех случаях, когда тип грунтовых условий и (или) внешние факторы, как природные, так и техногенные, диктуют недостаточность использования только организационно-хозяйственных или инженерно-строительных мероприятий для успешного функционирования ПТС. Всевозможные слабые, структурно-неустойчивые, малопрочные и растворимые грунты под влиянием внешних воздействий разной природы и происхождения теряют прочность, испытывают значительные объемные деформации, ухудшается их физическое состояние и фильтрационные свойства. В результате этих негативных изменений возникают нежелательные геомеханические процессы, ухудшающие качество геологической среды и функционирование ПТС в целом. Методы технической мелиорации грунтов как раз и позволяют восстановить полезные качества геологической среды, защитить ее от разрушения, а тем самым обеспечить и надежное функционирование ПТС.

В настоящее время в арсенале технической мелиорации грунтов имеется много разработок и методов управления, дающих возможность обеспечить требуемое качество геологической среды, что необходимо иметь в виду при функционировании мониторинга геологической среды. Геотехнологические приемы, основанные на перемешивании грунтов с вяжущими веществами на месте, позволяют создавать материалы на основе грунта с заданными параметрами прочности, водо- и морозостойкости; они используются для устранения пучинистости и набухаемости грунтов; химическая обработка способствует улучшению уплотняемости грунтов при оптимальной влажности. Инъекционные способы закрепления грунтов применяются для устранения структурной неустойчивости грунтов, для контроля гидрогеомеханических процессов на склонах и в откосах, для регулирования фильтрационных свойств. Аналогичные задачи решаются и методами дренирования и обезвоживания грунтов. Разработанные в последнее время методы армирования позволяют осуществлять стабилизацию слабых водонасыщенных грунтов, уплотнение и упрочнение слабых и структурно-неустойчивых грунтов в пределах значительных массивов.

Второе направление методов технической мелиорации, согласно С.Д. Воронкевичу (1993), обеспечивает физико-химическое воздействие на геологическую среду в целях ее очистки от загрязнителей техногенного происхождения, главным образом локальных. Основные эколого-геологические возможности методов физико-химической мелиорации грунтов, которые успешно могут быть ре-

*Эколого-геологические возможности методов
физико-химической мелиорации грунтов
(по С.Д. Воронкевичу, 1993, с дополнениями)*

Основные геотехнологии	Геоэкологические возможности
<p>Упрочнение и модификация грунтов-материалов вяжущими перемешиванием с последующей укладкой и уплотнением</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Иммобилизация вредных компонентов путем отверждения отходов при полигонном их захоронении 2. Обеспечение экранирующего эффекта грунтовых слоев в системе многобарьерной защиты приповерхностных хранилищ 3. Создание геомембран (фильтры, сорбенты) на основе местных грунтов и материалов 4. Создание антикоррозийных грунтовых композиций для защиты подземных конструкций
<p>Инъекция и инъекционное армирование грунтов внедрением специальных флюидов с последующим выделением гелей или твердых осадков</p>	<ol style="list-style-type: none"> 5. Обеспечение химической устойчивости грунтов оснований сооружений 6. Контроль миграции ионов металлов и газов в сфере влияния очаговых источников 7. Создание бактерицидных и антисептических зон для подавления активности микроорганизмов 8. Контроль инженерно-геохимической деятельности микроорганизмов 9. Гидроизоляция пунктов хранения или захоронения опасных (токсичных) отходов 10. Локализация сферы влияния объектов скважинной добычи полезных ископаемых
<p>Физико-химическая обработка грунтов электрохимическими и химическими сваями</p>	<ol style="list-style-type: none"> 11. Интенсификация дренирования гидротвалов и хвостохранилищ при рекультивации и вторичном использовании 12. Аккумуляция и фиксация ионов металлов-загрязнителей в виде нерастворимых соединений 13. Электрохимическая дезактивация грунтов от радиоактивных и токсичных загрязнителей

лизованы в системе мониторинга геологической среды, приведены в табл. 17.

Таким образом, современные методы физико-химической мелиорации грунтов в системе мониторинга геологической среды могут успешно использоваться для выполнения следующих основных функций управления средой: гидроизоляционной, концентрационной, сульфатосвязывающей, антикоррозийной, токсино-изоляционной, бактерицидной, антисептической и дезактивационной. Многие из этих методов управления являются пока единственными и уникальными для обеспечения оптимального функционирования тех или иных ПТС.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ГЛ. 6

1. Что является объектом управления в системе мониторинга геологической среды?
2. Какова цель (цели) управления в системе мониторинга геологической среды?
3. В чем состоят основные принципы принятия рекомендаций и управляющих решений в мониторинге геологической среды?
4. Что такое “критерий предпочтения” при выборе управляющего решения?
5. В чем состоит способ бинарных отношений при выборе управляющего решения?
6. Каковы положительные и отрицательные стороны принятия коллективного управляющего решения?
7. Что такое “эколого-геологическая экспертиза проекта”?
8. Каковы основные черты эколого-геологической экспертизы?
9. Какие группы методов технической мелиорации грунтов могут использоваться для управления геологической средой?
10. В чем состоит геоэкологический аспект использования физико-химических способов технической мелиорации грунтов?

Глава 7

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ

7.1. МОНИТОРИНГ В РАЙОНАХ РАЗВИТИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Из всех видов хозяйственной деятельности горнодобывающая промышленность оказывает наиболее существенное техногенное воздействие на геологическую среду, вследствие чего организация мониторинга в районах развития этого производства является актуальной и важной задачей.

Для правильной организации мониторинга геологической среды в таких районах необходимо учитывать различные особенности горнодобывающих предприятий, которые обуславливают характерные черты их техногенного воздействия. Горнодобывающие предприятия представляют собой обычно комплекс сооружений, в который входят:

- зона сосредоточения горных разработок (шахт, карьеров) или эксплуатационных скважин;

- зона отвального хозяйства и вспомогательных сооружений;

- зона размещения объектов переработки сырья (обогащительные фабрики, отстойники, хвостохранилища, склады готовой продукции);

- транспортные сооружения в пределах горного отвода;

- водохранилища;

- внешние продуктопроводы (нефте- и газопроводы).

Весь этот комплекс горнодобывающего предприятия оказывает техногенное воздействие на геологическую среду. Причем масштабы воздействия горнодобывающих предприятий не зависят от размеров карьера. Влияние горнодобывающих предприятий на геологическую среду, согласно Г.А. Голодковской (1983), определяется двумя группами факторов: собственно природными условиями данного месторождения (строением геологической среды) и способом разработки месторождения. Обе группы факторов изменений геологической среды должны непременно учитываться при организации мониторинга в районах горнодобывающих предприятий.

В первую группу факторов входят основные компоненты геологической среды: геолого-структурный, гидрогеологический, геоморфологический, геодинамический. Для их учета можно использовать классификацию месторождений полезных ископаемых, построенную Г.А. Голодковской (1983) по принципам инженерно-геологического районирования. Вторая группа факторов связана со способом разработки месторождений, среди которых основными являются: открытые горные работы, подземные горные работы, извлечение полезных ископаемых скважинами, геотехнологические способы добычи (подземная переработка полезных ископаемых).

Среди указанных способов разработки **открытые горные работы** являются наиболее экологически напряженным способом добычи, в наибольшей мере влияющим на компоненты геологической среды. При этом способе добычи наибольшие изменения геологической среды связаны с: отчуждением земель под карьеры и отвалы пустой породы; нарушением гидрогеологических условий с формированием депрессионных воронок, смещением вод разного состава, истощением запасов подземных вод и т.д.; изменением ландшафта территории; изменением напряженного состояния массивов горных пород и активизацией склоновых процессов. Отсюда следует, что при организации мониторинга геологической среды в районах открытых разработок наблюдательная сеть должна быть направлена на мониторинг подземных вод (гидродинамический режим и химический состав вод), на наблюдения за устойчивостью бортов карьеров и отвалов пород, на наблюдения за различными возможными видами загрязнения горных пород, почв и ландшафта в целом.

Подземный (шахтный) способ разработки полезных ископаемых также влечет за собой ряд негативных в экологическом и инженерно-геологическом отношении процессов. К ним относятся: изменения гидрогеологических условий (режим, химический состав, температура), захватывающие глубокие водоносные горизонты; вовлечение в оборот агрессивных и минерализованных сбросных подземных вод; изменение напряженного состояния горных пород в глубине массивов (формирование горных ударов, вывалов, обрушений кровли, мульд проседания); изменение ландшафта, связанное с отвалами и хранением добытого полезного ископаемого; изменение температурного поля массива.

Извлечение полезных ископаемых скважинами (в основном нефти и газа) влечет за собой: изменение гидрогеологических условий (режим, химический состав) территории, включая глубокие водоносные горизонты; изменение напряженного состояния пород; поверхностное химическое загрязнение ландшафта и его изменение.

Наименьшие экологические последствия связаны с **геотехнологическим извлечением** полезных ископаемых. Тем не менее при

этом способе добычи возникает: изменение напряженного состояния пород (формирование мульд проседания, карста и т.д.); изменение термического режима массивов пород; изменение гидрогеологических условий (в зависимости от способа добычи); изменение ландшафта и его химическое загрязнение.

По характеру добываемых полезных ископаемых и интенсивности техногенной нагрузки на геологическую среду в общей структуре горнодобывающей промышленности выделяются три отрасли: 1) горнорудная и угольная промышленность; 2) промышленность горнохимического сырья; 3) нефтяная и газовая промышленность. Каждая из них имеет свои специфические особенности в технологии добычи полезных ископаемых, глубине проникновения в недра, воздействии на геологическую среду, что также необходимо учитывать при организации мониторинга.

В развитии горнорудной и угольной промышленности на территории России отмечаются следующие особенности: преимущественная добыча руд, углей и других полезных ископаемых открытым способом (до 60–70%); освоение глубокозалегающих рудных горизонтов и угольных пластов шахтным (на глубинах до 2 км) и карьерным способами (до 300–400 м); вовлечение в эксплуатацию месторождений со сложными гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями промышленного освоения; большая концентрация близко расположенных групп месторождений, имеющих сложные природные условия; чрезмерная концентрация техногенной нагрузки на геологическую среду вследствие компактного расположения различных структурных подразделений, входящих в состав горнорудного предприятия.

При разработке горнорудных и угольных месторождений полезных ископаемых происходят глубокие изменения всех основных компонентов геологической среды: видоизменяется рельеф, нарушаются породы, меняется гидрогеологический режим, формируются те или иные инженерно-геологические процессы. Происходит отчуждение земель на значительных площадях. Например, общая площадь нарушенных земель Кизеловского угольного бассейна, разрабатываемого 180 лет более 80 шахтами, достигает 600 га. На КАТЭКе ежегодно отчуждается 80–120 га земель, что вызывает необходимость организации мониторинга на территориях весьма значительных по площади.

Неизбежным следствием добычи, обогащения и переработки полезных ископаемых является химическое, а нередко радиоактивное и тепловое загрязнение компонентов окружающей среды. Атмосфера, а через нее и растительный покров, поверхностные и подземные воды загрязняются за счет газопылевых выбросов, образующихся в результате сжигания угля, торфа, сланцев, нефти, а также пыли отвалов горных пород, золо- и шлаконакопителей, использования

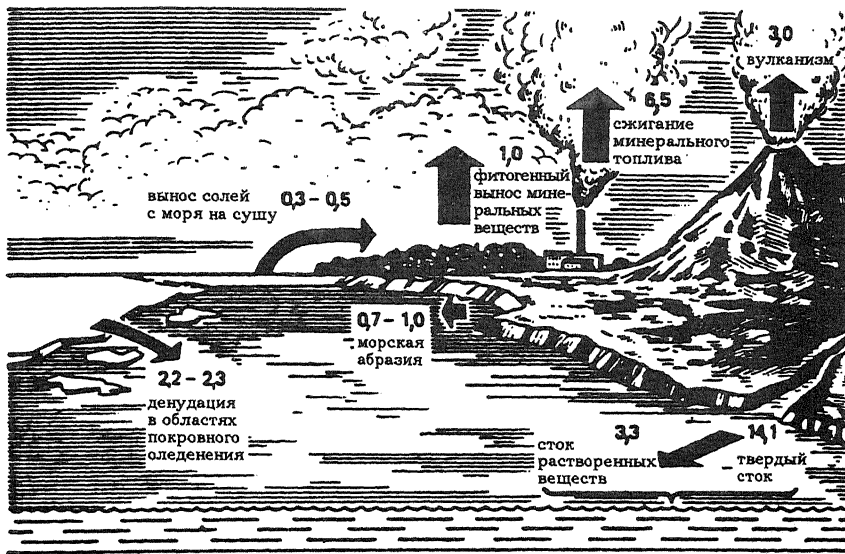


Рис. 39. Вынос минеральных веществ в атмосферу в сравнении с некоторыми другими потоками вещества, млрд. т (по Л.Г. Бондареву)

взрывчатых веществ за счет поступления на поверхность шахтных и рудничных вод, дегазации горных выработок, горения отвалов, потерь при транспортировке, фильтрации из накопителей жидких отходов и др. Помимо техногенной атмосфера испытывает и значительную природную нагрузку (рис. 39). При этом загрязнение происходит не только природными токсичными веществами (окиси углерода и серы, метан, тяжелые металлы и др.), но и флотационными реагентами, продуктами неполного сгорания, фенолами и т.п. Так, за один год из недр 140 угольных шахт Донбасса выделяется около 2,5 млрд м³ метана, концентрация которого в газовой смеси составляет в среднем 32%, а на устьях дегазационных скважин — 76–98%. Один средний горящий отвал выделяет в год 620–1280 т SO₂, 11–30 т NO₂, 330–500 т CO, 230–290 т H₂S.

Ареалы поверхностного загрязнения грунтов и почв угольной пылью вокруг крупных угольных разрезов (например, Нерюнгринского угольного разреза) достигают 150–200 км². Линейная протяженность ареалов загрязнения поверхностных грунтов и почв тяжелыми металлами вокруг предприятий по добыче меди, никеля, железа, апатитов со значениями коэффициентов накопления более 10 достигает 100–110 км. Особенно сильное поверхностное загрязнение происходит вокруг крупных горно-металлургических комбинатов. Так, влияние выбросов на состав атмосферных осадков прослеживается на

расстоянии более 1000 км от Норильского горно-металлургического комбината.

Зоны влияния химических загрязнителей по некоторым отраслям горнодобывающей промышленности (добыча и обогащение) представлены в табл. 18.

Таблица 18

Размеры зон влияния объектов различных отраслей горнодобывающей промышленности

Отрасли горнодобывающей промышленности по добыче полезных ископаемых	Зона химического загрязнения, км
Руды цветных металлов:	
свинцово-цинковые	1-100
медные	1-100
никелевые	1-100
ртутные	1-100
золотые	1-16
Железные руды	0,5-5
Уголь	2,5-50
Нефть и газ	1-3
Горючие сланцы	4-16
Сера	0,5-10
Соли	3-15

Загрязнение геологической среды радиоактивными веществами происходит при разработке месторождений урана, тория, бурого угля, торфа, фосфоритов, гранитов, горючих сланцев.

Зоны техногенного воздействия крупных месторождений полезных ископаемых, карьеров помимо факторов загрязнения формируются за счет изменения гидрогеологических условий в прилегающих областях. Радиус воронок депрессии может быть различен, но в некоторых случаях достигает огромных величин. Так, радиус воронки депрессии пьезометрических уровней подмерзлотных вод вокруг карьера кимберлитовой трубки "Мир" достигает 80 км.

Глубокое водопонижение на Южно-Белозерском месторождении, начатое с 1961 г. привело к оседанию поверхности за счет уплотнения грунтов: скорость оседания поверхности к 1967 г. составляла 0,6 м/год, в 1987 г. — 3 см/год; максимальное вертикальное смещение поверхности в районах стволов достигло около 3 м, мульда оседания распространилась на 12 км по простиранию и на 10 км по падению. Глубокое водопонижение на Яковлевском железорудном месторождении привело к оседанию поверхности на 2,7-3,1 м при скорости оседания до 1 м/год с площадью мульды сдвижения

до 45–50 км². В Донбассе при добыче угля на глубинах до 1100 м сдренированы откачками многие водоносные горизонты, в результате чего сформировались огромная зона аэрации и мощная кора выветривания. На территории Североуральских бокситовых месторождений при добыче руд в закарстованном массиве карбонатных пород уровень подземных вод снизился на 140–320 м, что вызвало интенсивные карстово-суффозионные процессы, образование большого числа провальных воронок. Площадь развития депрессионных воронок на Уральских месторождениях каменной соли составила 20–30 км².

Химический состав подземных вод в районах горнодобывающих предприятий меняется не только за счет смещения, но и активизации окислительных процессов, развития микробиологических процессов, вторичного минералообразования. Кислые шахтные воды характерны не только для сульфидных рудных месторождений, но и для большинства угольных месторождений. Величина рН в шахтных и рудничных водах нередко снижается до 2–3.

Подземные горные разработки и крупный длительный водоотлив в терригенных осадочных породах нарушают естественное состояние массивов, приводят к оседанию земной поверхности. В карбонатных породах активизируется карст, иногда сопровождающийся провалами поверхности. Активизируются и другие экзогенные геологические процессы.

Промышленность горнохимического сырья, включающая в себя и все виды обогащения полезных ископаемых, чрезвычайно многообразна, разнохарактерна и оказывает существенное влияние на геологическую среду. В горнохимической промышленности есть некоторые виды, приводящие к региональным изменениям геологической среды. В табл. 19 представлены средние данные о размерах зон влияния горнодобывающих и обогатительных предприятий.

Одним из важных компонентов разных отраслей промышленности горнохимического сырья и промышленного производства являются так называемые **промышленные сточные воды**, имеющие специфический состав в отличие от бытовых сточных вод (см. разд. 7.3). Промышленные сточные воды — это жидкие отходы промышленного производства, содержащие различные химические вещества. Попадая тем или иным путем в геологическую среду, сточные воды загрязняют ее различными компонентами. В связи с этим они должны находиться в сфере повышенного внимания в системе мониторинга геологической среды. Разнообразие типов промышленных производств определяет многокомпонентность состава этих сточных вод. Для каждой отрасли промышленности характерно присутствие в сточных водах свойственных этой отрасли химических соединений. Насчитывают тысячи химических веществ, которые могут находиться в сточных водах. Среди них минеральные и органические соединения разных классов:

Размеры зон влияния горнодобывающих предприятий

Источник (или способ) воздействия	Размеры зоны влияния	
	площадные, км ²	линейные, км
Открытая разработка, ГОКи, терриконы, хвостохранилища	0,1-100	0,1-20
Подземная скважинная и специальная разработка, водопонижение	0,1-10 000	—
Сбросы шахтных вод и ГОКов, дражные и гидромониторные способы разрушения пород	10-100	50-70
Закачка в недра реагентов и др., смешение вод разных горизонтов	1-100	1-10

соли, кислоты, щелочи, спирты, альдегиды, кетоны, хлор-, фосфор- и металлоорганические соединения, радиоактивные изотопы и др. Наиболее распространенными химическими веществами, поступающими в промышленные сточные воды, являются минеральные удобрения, пестициды, нефтепродукты, синтетические моющие вещества (ПАВ), а также биологические виды загрязнения: дрожжи, белки, ферменты и микроорганизмы. По действию на организм человека промышленные сточные воды могут обладать общетоксическим, онкогенным, аллергенным, мутагенным, эмбриотоксическим и другими эффектами, в связи с чем контроль за сбросами промышленных сточных вод осуществляется органами СЭС. Особенно опасно присутствие в промышленных сточных водах наиболее вредных для организма человека веществ, например, соединений ртути, свинца, мышьяка, цианидов, онкогенных соединений (провоцирующих раковые заболевания).

Промышленные сточные воды, как и другие стоки, оказывают наибольшее влияние на санитарное состояние поверхностных водоемов, а также прилегающих к ним водоносных комплексов и горизонтов подземных вод. К спуску их в водоемы предъявляются санитарно-гигиенические требования, регламентируемые "Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами" (1974). Промышленные сточные воды, особенно сильно загрязненные, часто проходят предварительную очистку на локальных очистительных сооружениях, а затем, как правило, подвергаются очистке на общегородских станциях аэрации совместно с бытовыми сточными водами (см. разд. 7.3). Для усиления контроля за сбросом промышленных сточных вод в водоемы необходима разработка для каждого отдельного предприятия допустимого уровня загрязняющих веществ в сточных водах,

поступающих в водоемы (так называемых предельно допустимых сбросов — ПДС), устанавливаемых на основании гигиенических требований и нормативов качества воды. Величины ПДС предприятий на данной территории должны быть заложены в информационную базу мониторинга геологической среды данной территории и должны корректироваться в ходе мониторинга.

При разработке месторождений полезных ископаемых с использованием средств гидромеханизации формируются специфические техногенные массивы из намывных грунтов, образующих упорные призмы, а также гидроотвалы и хвостохранилища. Намывной массив представляет собой сложную изменяющуюся во времени систему, для обеспечения устойчивости которого, установления закономерностей изменения его состояния и разработки управляющих решений и рекомендаций по рациональной технологии его формирования организуется локальный и детальный мониторинг — литомониторинг намывного массива. Его организация проводится аналогично организации литомониторинга горнодобывающего комплекса в те же основные этапы.

На первом этапе проводится оценка фонового состояния системы “геологическая среда – намывной массив”. Для этого анализируются четыре основные группы факторов: физико-географические (рельеф, климат, поверхностные воды и др.), инженерно-геологические (геологическое строение основания и тела сооружения, состав пород, их свойства и др.), гидрогеологические (обводненность основания, наличие водоносных горизонтов, условий питания и разгрузки, эффективность дренажных устройств в намываемом массиве и др.), технологические факторы (методы гидровскрышных работ или переработки минерального сырья, способы возведения дамб и намыва, интенсивность намыва, динамические и статические нагрузки и т.д.). Влияние этих факторов носит комплексный характер.

На втором этапе проводится выбор методов, позволяющих контролировать состояние системы “намывной массив – геологическая среда” в любой момент времени. При этом с помощью комплекса методов наблюдений нужно оперативно оценивать устойчивость откосных сооружений, устанавливать границы зон намывного массива и т.д. Для этого используются натурные наблюдения, предусматривающие создание стационарных систем датчиков-пьезодинамометров в теле и основании упорных призм; использование зондов, а также дистанционные методы — аэрофотосъемка намывных сооружений прилегающих территорий. Натурные испытания подкрепляются лабораторными анализами образцов (монолитов) для более детальных исследований.

На третьем этапе проводится собственно организация наблюдений, их систематическое проведение и обработка результатов. Совокупность точек или пунктов получения информации в пределах всего

изучаемого объекта составляет некоторую систему — систему пунктов получения информации (СППИНФ), организация которой должна быть оптимальной с точки зрения получения надежной и достаточной информации за массивом. Это достигается выбором СППИНФа (объема — числа пунктов получения информации; параметров — шага и интервалов между соседними пунктами; частоты проведения наблюдений и т.д.). Расчет параметров СППИНФа для одно-, двух- и трехмерной систем разработан Г.К. Бондариком (1986).

Четвертый этап заключается в установлении закономерностей изменения и прогнозе состояния системы “намывной массив — геологическая среда”. Это достигается некоторой схематизацией системы и составлением макета (расчетной модели намывного массива), основанного на различных положениях. В идеальном варианте создается постоянно действующая модель массива (ПДМ).

На заключительном пятом этапе используются результаты прогноза состоянием намывных массивов для корректировки проектных решений по их формированию. Это достигается на основе полученных закономерностей, характеризующих поведение намывного массива во времени и на базе ПДМ. Далее этапы 3–5 циклически повторяются.

По такой же схеме осуществляется мониторинг других природно-технических систем в районах горнохимического производства, территорий ТЭЦ и золоотвалов, рудников, карьеров и разрезов. Естественно, что во всех этих случаях СППИНФы в организуемых системах мониторинга различны как по структуре, так и по набору показателей, что определяется особенностями тех или иных промышленных объектов и видом их наиболее существенных техногенных воздействий на геологическую среду. Так, мониторинг на Ермаковской ГРЭС предусматривает в основном контроль гидрогеохимического поля на золоотвалах как наиболее значимый для данной ПТС.

Нефтяная и газовая промышленность. По характеру воздействия нефтегазодобывающая промышленность существенно отличается от вышерассмотренных прежде всего большой глубиной проникновения техногенных процессов в геологическую среду (до 7 км), а также разработкой нефтегазовых месторождений на морских акваториях. Основными чертами геологической среды нефтегазовых месторождений, которые надо учитывать при организации мониторинга, является присутствие в разрезе двух несмешивающихся жидкостей — нефти и подземных вод, а также существенное влияние на горные породы жидких и газовых углеводородных компонентов. Главная особенность в техногенезе нефте- и газодобывающих комплексов состоит в своеобразии техногенной нагрузки на геологическую среду, когда происходит взаимодействие двух процессов — мощного отбора из недр полезных компонентов и не менее мощного нагнетания в продуктивные пласты воды и реагентов.

Одним из самых серьезных воздействий, оказываемых на геологическую среду в районах нефтяных и газовых месторождений, а также нефтеперерабатывающих предприятий, является химическое загрязнение следующих основных видов: углеводородное загрязнение; засоление пород и подземных вод минерализованными водами и рассолами, получаемыми попутно с нефтью и газом; загрязнение специфическими компонентами, в том числе сернистыми соединениями. Загрязнение пород, поверхностных и грунтовых вод часто сопровождается истощением естественных запасов подземных вод. В некоторых случаях истощению могут подвергаться и поверхностные воды, используемые для заводнения нефтяных пластов. В морских условиях возрастает масштаб угрозы загрязнения акваторий как искусственными (реагенты, применяемые при бурении и эксплуатации скважин), так и естественными загрязнителями (нефть, рассолы). Основная причина химического загрязнения на нефтяных месторождениях — низкая культура производства и несоблюдение технологий. Поэтому в наблюдательной сети мониторинга геологической среды районов нефтегазовых месторождений одна из основных нагрузок падает на геохимические наблюдения, контроль загрязнений.

При локальном загрязнении нефтью и жидкими углеводородами геологической среды от мелких источников загрязнения (нефтяных скважин, нефтехранилищ, складов горюче-смазочных материалов, АЗС, автобаз и др.) образуется **ореол нефтяного загрязнения**, состоящий из трех зон: внешней, где нефтепродукты находятся на поверхности твердой фазы грунтов в виде адсорбированной пленки; средней, для которой характерно образование нефтяной (углеводородной) эмульсии в поровой воде грунтов; внутренней, где нефть и углеводороды находятся в растворенном состоянии в порах водонасыщенного грунта. В процессе формирования ореола загрязнения углеводородами, кроме того, формируются абиотическая и биотическая зоны. В биотической зоне протекают основные биохимические процессы деструкции нефтяных углеводородов, которые находятся как в эмульгированном, так и в растворенном состоянии. В эмульгированном слое преобладают восстановительные условия, которые сменяются окислительными в зоне миграции растворенных углеводородов, где развиваются в основном микроорганизмы из числа анаэробов и факультативных анаэробов. В окислительных условиях биодеструкция углеводородов осуществляется аэробными микроорганизмами. При биодеструкции углеводородов выделяется в основном метан, углекислый газ и сероводород. Указанные особенности ореолов нефтяного загрязнения необходимо учитывать при организации наблюдательной сети мониторинга.

Среди физических нарушений геологической среды в районах нефти и газодобычи следует отметить проявления просадок, оседаний и провалов земной поверхности, а также подтоплений. Возможное развитие

этих негативных инженерно-геологических процессов также должно являться предметом изучения в системе мониторинга геологической среды.

Специфика изменений геологической среды на нефтегазовых месторождениях вызывает необходимость использования в наблюдательной сети мониторинга и специфические методы, позволяющие контролировать изменения и различные процессы, происходящие на больших глубинах. Вследствие этого среди методов наблюдений в сети мониторинга наибольший удельный вес составляют различные геофизические и дистанционные методы.

В России в конце 80-х годов на ряде нефтяных и газовых промыслов Западной Сибири была впервые организована отраслевая служба инженерно-геологического мониторинга, концепция которой была разработана Ю.Ф. Захаровым, направленная на контроль, прогнозирование и управление ПТС. В этой системе мониторинга реализация принятых управляющих решений проводится предотвращением, прекращением, ослаблением инженерно-геологических процессов и усилением или ускорением положительных и желаемых эффектов от проявления таких процессов. Для достижения требуемых результатов в системе отраслевого мониторинга месторождений жидких и газовых ископаемых в условиях Западной Сибири предлагается спектр технологических методов и способов: от изменения режима работы объекта, изменения параметров и объемов добываемого и транспортируемого полезного ископаемого до приостановления природопользования, отключения отдельных объектов или их элементов для проведения ремонта. Наиболее широко используемый вид управляющих решений на действующих промыслах — предупредительные или ремонтно-восстановительные работы содержит геохимическое, криогенное, геомеханическое, термическое закрепление грунтовых оснований и насыпей, усиление фундаментов объектов дополнительными буронабивными или буроинъекционными сваями; устройство противозерозионной и тепловой защит, поверхностного и подземного дренажей, противодиффузионных завес и барражей; подсыпку и выемку грунта; замену слабых, сильнольдистых и пучинистых грунтов; управляемое замораживание и протаивание грунтов; регулирование водоотбора и снегонакопления, пополнение запасов подземных вод, регенерацию водоносных пластов и водоприемных устройств; совершенствование защиты геологической среды и очистки промстоков; локализацию источников загрязнения и очистку загрязненных участков, а также другие рекультивационные мероприятия.

Таким образом, мониторинг районов горнодобывающей и перерабатывающей промышленности должен быть комплексным, учитывающим способы добычи полезных ископаемых и их переработки, а

также особенности изменений геологической среды и охватывать все системы объектов наблюдения, контроля и управления.

7.2. МОНИТОРИНГ РАЙОНОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Гидротехнические сооружения вносят существенные изменения в окружающую природную и геологическую среду. Поэтому организация систем мониторинга на территориях, прилегающих к гидротехническим сооружениям, является актуальной задачей. Однако пока в России выполняемые наблюдения за процессами взаимодействия строящихся и уже построенных гидротехнических сооружений с геологической средой, за редким исключением, не носят системного характера, а использование их результатов для установления закономерностей развития такого взаимодействия и совершенствования научного прогнозирования явно неудовлетворительно. Как отмечал И.А. Парабучев (1992), еще более безрадостная картина сложилась в организации систематических наблюдений за техногенными процессами, происходящими в пределах зон эксплуатируемых водохранилищ. В течение многих десятилетий подавляющее большинство их оставалось практически бесхозным. По сути то, что происходит на их берегах, целиком отдано на откуп местным организациям с их узководомственными интересами. Отсюда и бесконтрольность сброса в водохранилища неочищенных стоков, и смывы с полей ядохимикатов, и зарастание мелководий водорослями, и выход из строя систем инженерной защиты и т.п.

Лишь на двух каскадах водохранилищ в пределах бывшего СССР (Волжско-Камском и Днепровском) такие наблюдения, хотя и по ограниченному набору параметров, более или менее систематически велись гидрогеологическими экспедициями. В частности, на Волжском каскаде водохранилищ была создана подсистема литомониторинга "Берега водохранилищ Волжского каскада" (Адас, 1986). Ее основой послужила сеть режимных наблюдений, заложенная в 1947 г. на Рыбинском водохранилище. В настоящее время все водохранилища Волжского каскада охвачены режимной сетью наблюдений, по результатам работы которой составлены многолетние ряды. Количество наблюдательных створов на водохранилищах Волжского каскада превышает 3000, периоды наблюдений охватывают временные интервалы в 17–30 лет более чем по 20 наблюдаемым характеристикам.

Режимные наблюдения на волжских и других водохранилищах показали, что переработка их берегов происходит спустя много лет по-прежнему довольно активно, без заметного снижения темпов этого процесса во времени вопреки начальным прогнозам. Потенциально

опасными инженерными объектами являются и высокогорные водохранилища, так как прорыв плотины вследствие землетрясений, крупных оползней, аварий может привести к катастрофическим последствиям. Из этого следует особая значимость мониторинга в районах водохранилищ.

При организации мониторинга геологической среды в районах крупных гидротехнических сооружений в первую очередь необходимо учитывать их **конструктивные особенности и размещение**. Гидротехнические сооружения (гидроузлы) состоят, как правило, из комплекса сооружений: энергетических (ГЭС), транспортных (каналы, водоводы, шлюзы и др.), водозаборных. При комплексном использовании рек в состав гидроузлов входят также и различные вспомогательные сооружения (перемычки, дороги, ЛЭП, жилищные поселки и др.). Весь этот комплекс оказывает техногенное воздействие на геологическую среду территории гидроузла, и он должен приниматься в расчет при организации сети мониторинга. Согласно И.А. Парабучеву (1992), в систему мониторинга гидротехнических сооружений должны непременно включаться и комплексные натурные наблюдения за самим сооружением. Кроме того, в зависимости от сложности природно-геологических условий гидроузлы по своей конструкции создаются трех основных типов: низконапорные гидроузлы; гидроузлы с приплотинной ГЭС и деривационные гидроузлы (ГАЭС).

На многих крупных реках построено по несколько (8–12) гидроузлов, в результате чего они превращаются в систему искусственных водохранилищ с зарегулированным стоком. В России к таким рекам относятся прежде всего Волга, Кама, Ангара и Енисей. Для таких каскадных гидроузлов актуальность создания мониторинга наибольшая.

Особенности изменений геологической среды районов гидротехнических сооружений определяются инженерно-геологическими условиями территорий и типом гидротехнического сооружения. Строительство ГЭС с водонапорными или вододерживающими плотинами всегда связано с созданием водохранилищ. Местоположение створа плотины выбирают с учетом многих условий, среди которых одно из первостепенных состоит в том, чтобы при равных положениях нормального подпорного уровня (НПУ) воды у плотины ограничить до минимума площадь затопления и подтопления прилегающей к водохранилищу территорий, населенных пунктов и пр. Тем не менее, как бы ни был удачен выбор створа и планировочного решения, создание водохранилища, особенно крупного, всегда оказывает существенное влияние на окружающую среду, вносит существенные изменения в инженерно-геологические условия прилегающих территорий.

Зона влияния водохранилища пропорциональна его размеру — площади зеркала воды. Наиболее крупные водохранилища образуются при строительстве ГЭС на равнинных реках.

Так, площадь Рыбинского водохранилища на Волге составляет 4,5 тыс. км², Куйбышевского — 5,6 тыс. км², Волгоградского — 3,5 тыс. км².

Для различных крупных гидротехнических сооружений область техногенного воздействия на геологическую среду начинает формироваться уже на начальных этапах строительства. Область взаимодействия построенной плотины и массива горных пород в общем случае по данным Л.А. Молокова (1982) охватывает больший объем пород, чем в период строительства гидротехнического сооружения. При этом нельзя рассматривать воздействие только одной плотины на массив пород, не учитывая одновременно воздействия на массив и водохранилища. Воздействие на массив горных пород оказывают совместно плотина, масса воды в водохранилище, фильтрационный поток в обход примыканий и в основании плотины, подтопление склонов долины, взвешивающее воздействие воды и др. В целом же общая зона воздействия будет определяться наложением или взаимодействием зон разуплотнения-уплотнения пород, областью колебания естественных и искусственных уровней подземных вод, зоной возможных фильтрационных деформаций, зоной ослабления устойчивости склона.

При организации системы мониторинга в районах крупных гидротехнических сооружений основными наиболее общими задачами исследований, по И.А. Парабучеву (1992) являются:

определение границ области влияния сооружений на геологическую среду;

выявление участков, наиболее активно реагирующих на техногенное воздействие гидротехнических сооружений;

установление основных причин, изменяющих свойства и состояние пород в области взаимодействия их с сооружением, изучение механизма влияния указанных факторов на среду, сами сооружения или условия производства строительных работ, выработка критериев безопасности работы сооружения;

контроль за динамикой природных и техногенных процессов, прогноз и предупреждение опасных геодинамических процессов.

В зоне влияния водохранилищ возникает комплекс неблагоприятных инженерно-геологических процессов и явлений, которые должны быть в центре внимания наблюдательной сети мониторинга. Среди них необходимо выделить:

постоянное затопление территорий городов, населенных пунктов, дорог, сельскохозяйственных площадей и пр.;

более значительное и продолжительное затопление территорий в периоды половодий и паводков, чем до строительства водохранилища;

подтопление территорий и расположенных на них сооружений в результате развития подпора уровня подземных вод;

заболачивание территорий, а в районах недостаточного увлажнения — засоление почв и грунтов в результате подпора подземных вод;

переливы через низкие водоразделы, вызывающие периодические затопления, заболачивание низких территорий;

временные и постоянные потери воды из водохранилища в бортах долины, вызывающие изменение нормальных условий работы гидроузла;

подмыв, разрушение берегов и их переработка под действием ветровых волн;

нарушение устойчивости пород на береговых склонах, активизация склоновых процессов в результате подмыва и подтопления склонов;

заиление водохранилища и как следствие — уменьшение их емкости, ухудшение условий судоходства и рыбоводства, образование мелководий, болот, ухудшение общей санитарной обстановки;

всплывание торфяных залежей, размыв свалок, полигонов твердых бытовых отходов (ТБО), вызывающий ухудшение режима работы гидроузла, санитарных условий, загрязнение поверхностных и подземных вод;

повышение сейсмической активности территорий в связи с искусственным обводнением горных пород в верхних горизонтах земной коры (особенно в горно-складчатых областях).

При организации мониторинга геологической среды необходимо учитывать и не менее важные изменения, которые происходят в самом массиве горных пород прежде всего в основании плотины и гидротехнических сооружений при их строительстве и эксплуатации. Они связаны с изменением напряженного состояния пород основания (разгрузкой в период строительства и последующее сжатие); с техногенным выветриванием горных пород при строительстве котлована; с изменением температурного режима пород; с фильтрационными деформациями зданий и сооружений ГЭС вследствие возможной активизации карстовых процессов, эрозии и т.д. Развитие карста с образованием крупных провальных форм отмечалось, например, для каскада Ангарских ГЭС, на расстоянии 0,5–1 км от берега водохранилищ, а в редких случаях — на расстоянии до 6 км от берега. Общая площадь пораженности карстовыми процессами в районе только Братского водохранилища превышает 460 км².

По данным долгосрочных наблюдений за изменением свойств пород скального основания арочной плотины Ингурской ГЭС было установлено, что в период строительства плотины существенное уплотнение пород происходило до глубин 50–80 м. После наполнения водохранилища уплотнение пород зафиксировано до 500–800 м, а для плотины до 250 м. По данным А.А. Карлсона (1980), для швейцарских арочных

плотин мощность зоны активного воздействия составляла по глубине 50–100 м.

Несколько лучше изучены глубина зоны сжатия и конфигурация ее в плане в основании плотин, построенных на глинистых грунтах. О степени сжатия пород можно, как известно, судить по осадкам поверхности земли. Так, на участке плотины Волжской ГЭС, возведенной на неогеновых глинах, воронка осадки распространилась на 0,6–0,7 км в стороны от сооружения. Работы по оценке глубины зоны сжатия пород в основании плотины показали, что за 16 лет эксплуатации породы ниже глубины 30–37 м не претерпели никаких изменений плотности или влажности. Аналогичные наблюдения на Саратовской ГЭС показали, что глубина зоны влияния распространяется здесь на 50 м. Детальные геофизические наблюдения также показывают, что фактические перемещения поверхности под нагрузкой от водохранилищ, как правило, незначительны: поперечник воронки оседания обычно менее 10 км, а максимальная осадка менее 10 см.

Важнейшая особенность формирования указанных изменений геологической среды, которая непременно должна учитываться при организации мониторинга, — их длительность. Например, на большинстве волжских водохранилищ установившийся режим подземных вод в зоне их влияния сформировался только через 5–10 лет, а подпор грунтовых вод распространился на расстояния до 10–15 км (за исключением зоны влияния Каховского водохранилища). Ежегодные сезонные колебания уровня воды в водохранилище на 2–3 м сказываются на режиме уровней грунтовых вод на расстоянии до 300–700 м для песчаных и супесчаных грунтов и на расстоянии до 150–250 м для суглинистых пород.

Оценка подтопляемости территорий при организации сети мониторинга проводится в соответствии с действующими нормативными и методическими документами. Влияние подтопления на территории характеризуется прежде всего глубиной залегания грунтовых вод. При этом выделяются: 1) подзона сильного подтопления или заболачивания — глубина залегания грунтовых вод от 0 до 0,3–0,7 м; содержание воды в почвах и грунтах 70–100% полной влагоемкости; избыточное увлажнение приводит к заболачиванию, в аридных условиях — к засолению верхних горизонтов почв; 2) подзона умеренного подтопления — глубина залегания грунтовых вод от 0,3–0,7 до 1,2–2,0 м; 3) подзона слабого подтопления — грунтовые воды залегают на глубине от 1,2–2,0 до 2–3 м в гумидных условиях и до 5 м в аридных. Зона влияния измененного гидрологического режима в нижних бьефах гидроузлов сезонного и многолетнего регулирования распространяется на несколько сотен километров вниз по течению реки, при суточном регулировании — на 80–100 км.

Таким образом, для крупных гидротехнических сооружений, построенных как в равнинных, так и в горных областях, зона изменения свойств горных пород распространяется в среднем на глубины до 50–100 м, а в плане прослеживается на расстояния до 1 км от сооружения.

Для ликвидации перечисленных опасных и неблагоприятных процессов в зонах водохранилищ проводятся многочисленные защитные мероприятия: создается система инженерной защиты территорий, главным образом от процессов подтопления. С этой целью возводятся дамбы обвалования, проводится подсыпка или намыв территорий, возводятся берегоукрепительные сооружения, строится система дренажей, дополнительных каналов и т.д. Все эти объекты обязательно должны включаться в наблюдательную сеть мониторинга геологической среды, так как они располагаются на участках наибольшего техногенного влияния гидроузла на геологическую среду. Во многих районах на таких объектах, как и на самих ГЭС, организованы режимные наблюдения. Они также должны включаться в систему мониторинга.

Таким образом, основными особенностями и факторами, которые необходимо учитывать при создании систем мониторинга геологической среды районов гидротехнических сооружений, являются:

учет типа сооружений и особенностей инженерно-геологических условий территорий;

организация мониторинга на весь каскад взаимосвязанных гидроузлов;

учет особенностей различных зон техногенного влияния гидроузла при организации наблюдательной сети;

учет и включение в структуру мониторинга системы инженерной защиты и режимной сети.

7.3. МОНИТОРИНГ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ

На территориях большинства современных городов значительное влияние на геологическую среду оказывают техногенные воздействия, что обусловливается высокой концентрацией промышленности, энергетики, транспорта и жилищно-коммунального хозяйства. Вследствие этого создание в пределах городских агломераций локальных и детальных систем мониторинга является одной из первоочередных и актуальных задач.

Для правильной и рациональной организации мониторинга урбанизированных территорий, согласно Г.А. Голодковской и Ю.Б. Елисеву (1989), М.А. Шубину (1983) и др., необходимо учитывать основные особенности изменений геологической среды в пределах городов, связанные с современными тенденциями развития городского строительства. К ним относятся:

рост крупных городов-мегаполисов, окруженных более мелкими городами-спутниками;

освоение под городское строительство “неудобий” (заболоченных участков, свалок, засыпанных оврагов и др.) из-за дефицита полезной площади;

все увеличивающиеся тенденции освоения подземного пространства; усиление динамического воздействия на грунты, которое не характерно для малых городов;

возрастание этажности зданий и как следствие этого — повышение требований к устойчивости сооружений.

Современный город представляет собой крупный населенный пункт, выполняющий сложные жилищные, промышленные, организационно-хозяйственные, транспортные, управленческие, культурные функции и др. Помимо территории, ограниченной административной границей, город отторгает у природной среды значительные площади, лежащие в отрыве от городской черты, отчуждаемые под различные сооружения. Часть этих сооружений непосредственно связана с нуждами города (как, например, аэропорты, места отдыха и др.), а часть — косвенно (внегородские склады, сортировочные узлы, карьеры стройматериалов, горнорудные предприятия, промыслы и др.).

В настоящее время крупный город представляет собой многозональную полифункциональную систему, развивающуюся от простой к более сложной по конфигурации и соподчиненности. Городская территория по структурно-функциональному признаку подразделяется на ряд самостоятельных функциональных зон: селитебную (заселенную людьми) и внеселитебную. Последняя в свою очередь делится на промышленную (производственную), коммунально-складскую, санитарную, рекреационную (садово-парковую), зону отдыха, внешнего транспорта, прочих земель. Все эти зоны взаимодействуют друг с другом и тесно связаны. Функциональное зонирование позволяет при планировке населенных пунктов выбирать территорию для размещения селитебных зон с наветренной стороны по отношению к промышленным объектам, прогнозировать рассеивание промышленных выбросов в приземных слоях атмосферы и определять величину санитарно-защитных зон. При этом в первую очередь учитывается роза ветров — график направлений ветра на данной территории (см. разд. 4.1).

Практика планирования городов показывает, что для современного полифункционального города наибольшая по площади территория приходится на долю селитебной зоны (до 42%), на долю промышленной — 18%, прочих земель — 14%, внешнего транспорта — 10%, рекреационной зоны — 8%, коммунально-складской — 6%, а санитарной — 2%. Вследствие этого для правильной планировки наблюдательной сети мониторинга геологической среды города или

городской агломерации необходимо выявить пространственную дифференциацию освоенности этих территорий с учетом качественных и количественных характеристик.

Многоплановая хозяйственная деятельность на территориях городов очень сильно изменяет первоначальное состояние геологической среды, в результате чего возникают различные негативные инженерно-геологические процессы и явления с отрицательными экологическими последствиями. Для выявления степени измененности геологической среды на территориях городов иногда приходится применять и архивные данные и даже археологические и исторические материалы, как это впервые предпринял Ф.В. Котлов (1967).

Территории городов испытывают, как правило, существенные антропогенные изменения рельефа, хотя общий морфологический облик историко-генетического комплекса рельефа может и сохраняться. Для оценки измененности рельефа на территории города могут использоваться различные количественные показатели и градации. Чаще всего для этого используют три степени измененности рельефа: сильно измененный; частично измененный; практически неизменный.

Основными тенденциями антропогенного изменения рельефа территорий городов являются: выравнивание поверхности (планировка рельефа), достигающее значительных площадей; уничтожение микрорельефа (балок, русел ручьев и мелких рек, овражной сети и др.); уменьшение глубины и густоты расчленения рельефа; снижение уклонов поверхности рельефа. В целом все это приводит к общему снижению энергии рельефа и упрощению структуры водосборных бассейнов, что в свою очередь вызывает уменьшение склонового транзита, интенсивности поверхностного стока, естественной эрозии.

На территории города существенно меняются гидрогеологические условия в основном в результате интенсивной эксплуатации подземных и поверхностных вод на промышленные и хозяйственные нужды. При этом в местах водозаборов формируются глубокие депрессионные воронки, происходит изменение гидрохимического режима подземных вод и их загрязнение. Наиболее крупные депрессионные воронки (с понижениями в центре водозабора до 80–100 м и более и радиусом, превышающим 100 км) образуются при эксплуатации на территориях городов глубоких водоносных горизонтов артезианских бассейнов таких, как Московский, Днепровско-Донецкий, Прибалтийский и др. Глубина депрессионных воронок в Лондоне 100 м, в Киеве 65 м, в Москве около 50 м. Площадь депрессионной воронки на территории Москвы занимает 50 тыс. км², максимальное понижение уровня, по данным Л.С. Язвина и других (1988), достигает здесь в окско-протвинском горизонте и составляет 120 м. Крупные

депресссионные воронки радиусом около 40 км и понижением 60 м образовались в Азово-Кубанском бассейне. В районе Санкт-Петербурга пьезометрический уровень в гдовском горизонте снизился на 80 м, радиус депрессионной воронки увеличился до 50 км, площадь — до 16 тыс. км². Над депрессионными воронками подземных вод почти всюду сформировались пологие мульды оседания, их площадь в городах изменяется от долей квадратных километров до 3500 км².

Под влиянием водоотбора на территории города могут возникать и активизироваться различные карстово-суффозионные процессы, проявляющиеся на поверхности земли провальными воронками. Такие процессы отмечены на территории Москвы и в других городах, где есть соответствующие геологические условия. В этом случае среди основных факторов, формирующихся в результате интенсивного водоотбора подземных вод, отмечается увеличение скоростей фильтрации и интенсивности изменения величины гидростатического давления в результате снижения пьезометрических уровней. Это приводит к переформированию источников восполнения запасов подземных и поверхностных вод и изменению естественного гидродинамического, гидрохимического и температурного режимов вод, а также к изменению экологической и медико-биологической обстановки в городе.

Однако наряду с этим в городах часто развивается и техногенное подтопление территорий. Так, в Томске им охвачено 2,7 тыс. га (или 28%) территории города. При этом широко распространенные здесь лессовидные суглинки утрачивают просадочные свойства, уменьшается их прочность, деформируемость возрастает в 1,5–2 раза.

Для отражения на картах зон техногенного подтопления территорий могут использоваться различные как относительные (например, коэффициент пораженности территории подтоплением), так и абсолютные показатели (скорость подъема уровня грунтовых вод, м/год; время подъема уровня воды на застроенных территориях до глубин 2–3 м от поверхности земли, лет). Как правило, подтопление охватывает всю застроенную территорию городов, которая по категориям опасности может быть подразделена на очень опасные, опасные и слабо опасные участки. Таким образом, зоной влияния в этом случае оказывается вся территория города.

Среди различных видов техногенного воздействия на геологическую среду города самым распространенным является статическое механическое воздействие от сооружений — уплотнение грунтов оснований. Это приводит к формированию вокруг каждого здания и сооружения осадочной воронки, глубина которой колеблется от 1 до 600 см, (чаще 10–20 см). Радиус воронки обычно выходит за пределы наружного периметра здания, характеризует зону его влияния и достигает 50–120 м. При плотной застройке, как показал Ф.В. Котлов (1978), одиночные осадочные воронки смыкаются, и под городом в

целом формируется крупноплощадная депрессионная поверхность в виде чаши оседания сотообразного строения.

Строительство и эксплуатация метрополитена в городах приводят к развитию процессов сдвижения пород и образованию мульд проседания. Ширина мульд над перегонными тоннелями изменяются от 40 до 200 м, над подземными станциями — от 160 до 300 м.

Вибрационное воздействие на территории городов, создаваемое в основном автомобильным транспортом, линиями метро, трамваев и железных дорог, при исследованиях на локальном, а также и на детальном уровне может оцениваться по данным А.Д. Жигалина и Г.П. Локшина (1991), представленным в табл. 20. Пороговыми значениями вибрации, предельно допустимыми уровнями ее воздействия на геологическую среду с учетом экологических последствий по данным указанных авторов является уровень вибрации, оцениваемый по виброскорости в 0,0004 м/с (78 дБ) и по виброускорению в 0,05 м/с² (44 дБ). Можно выделить три уровня интенсивности вибрационного воздействия на геологическую среду города: низкий (менее 46 дБ), средний (46–73 дБ), высокий (свыше 73 дБ).

Таблица 20

Размер зоны влияния некоторых источников вибрации на территории города (по А.Д. Жигалину, 1991)

Источник	Основная частота, Гц	Зона действия, м
Вибрационный каток	10–30	до 40
Автомобильная магистраль	10–20	40–100
Линия метро	30–60	60–120
Механический копер	15–35	150–250
Трамвайная линия	20–45	150–300
Железная дорога	10–30	150–300

Для городских транспортных автомагистралей с интенсивным транспортным потоком и высоким уровнем вибрации (65 дБ) автотранспортное вибрационное воздействие затухает до городских фоновых значений (для Москвы в р-не Ленинского проспекта 46 дБ) на расстоянии 20 м от оси полотна. Вибрационное воздействие, создаваемое в городе железнодорожными магистралями, в среднем распространяется на расстояния до 50 м от оси железной дороги.

Длительное динамическое воздействие на грунты может приводить к нарушению твердого покрытия магистралей, к деформациям и разрушению фундамента зданий вблизи магистралей и рельсовых путей. В зависимости от типа грунтов вибрационное воздействие на них может приводить к снижению сопротивления сдвигу, разрушению структурных связей, тиксотропному разупрочнению, разжижению

и другим негативным процессам, которые должны учитываться в наблюдательной сети мониторинга.

Тепловое загрязнение как следствие теплового воздействия проявляется в возникновении так называемого теплового купола над городом, на общем фоне которого формируются отдельные участки аномального прогрева грунта и грунтовых вод. Его формированию способствует сплошная застройка городской территории, покрытие асфальтом или бетоном открытой поверхности. Тепловое воздействие в городах на локальном уровне проявляется чаще всего и как результат влияния сточных техногенных вод, утечек из теплотрасс. С этим связано образование геотермической аномалии вокруг Москвы с повышением температуры на 3–5°C по сравнению с фоновой. Максимальный рост температуры в Москве отмечен для четвертично-мезозойского водоносного комплекса (выше на 14°C и более), а площадь этой тепловой аномалии почти в 1,5 раза превышает площадь самого города.

В меньшей степени, но на значительной площади может проявляться тепловое воздействие полигонов ТБО и прочих свалок, вокруг которых также формируются тепловые аномалии. Кроме того, на территории городов отепляющее воздействие оказывают здания всех типов и асфальтовое покрытие, при этом площадь отепляющего воздействия принимается равной площади асфальтового покрытия.

По данным А.Д. Жигалина (1981, 1983), область воздействия тепла от городских теплосетей, водопровода и канализации возможна на расстоянии до 20 м по обе стороны от оси коллектора при минимальных утечках. Тепловые аномалии на территории городов формируются на глубинах до 300 м с превышением температуры над фоновой до 1,5–3 раз.

Температурные аномалии приводят к изменению содержания газовой составляющей подземных вод, к интенсификации процессов взаимодействия в системе “вода – порода”, приводящих к увеличению агрессивности грунтов, к развитию микрофлоры и активизации микробиологических процессов, к изменению ряда свойств глинистых пород, в том числе к увеличению их сжимаемости, снижению вязкости и резкому снижению прочности. В зоне аэрации под воздействием избыточного тепла происходит локальное просушивание грунтовых массивов, приводящее к изменению их структуры и физико-механических свойств, в случае глинистых грунтов при их высушивании развивается тепловая усадка.

Для городских районов криолитозоны, по данным А.Д. Жигалина и др. (1989), наличие теплых заглубленных сооружений приводит к формированию зоны теплового влияния в радиусе до 15–30 м от сооружения, охватывая верхнюю часть грунтовой толщи. При

этом наибольшее влияние на изменение геокриологического состояния грунтов оказывают подземные коммуникационные коллекторы. Протаивание грунтов в основании коллектора достигает глубины 5–7 м, в горизонтальном направлении протаивание может распространяться на 8–10 м от оси коллектора, в этой зоне возникают провальные явления. В районах криолитозоны учет тепловых воздействий на геологическую среду города выступает на первый план при организации наблюдательной сети мониторинга.

Город со своей развитой промышленностью и коммунально-бытовой деятельностью оказывает сильное геохимическое воздействие на геологическую среду, выражающееся в перераспределении — концентрировании и рассеивании — огромных масс химических веществ и элементов как природного, так и техногенного происхождения. На больших площадях в пределах города формируются техногенные геохимические поля — взаимоувязанные в пространстве зоны повышенных или пониженных по сравнению с фоновыми или кларковыми концентрациями химических элементов. Самым значимым с эколого-геологической точки зрения проявлением этого перераспределения является химическое загрязнение компонентов геологической среды: почв, грунтов, подземных вод. Это вызывает необходимость при организации мониторинга геологической среды самого пристального внимания к химическому и другим видам техногенного загрязнения.

Химическим загрязнением охвачены по существу все площади современных городов и крупных населенных пунктов поселкового и городского типа. В крупных городах загрязнение геологической среды проникает на глубину до 50–100 м, но наиболее сильно в пределах города происходит загрязнение поверхности грунтов, почв и поверхностных вод. Поверхностный сток урбанизированных территорий транспортирует загрязняющие вещества, главным источником которых являются сточные воды. При сбросе этих вод в природных водных системах формируются зоны загрязнения с широким набором химических элементов, аккумулирующихся в донных отложениях. Донные отложения при этом образуют устойчивые зоны загрязнения с высокой концентрацией различных химических элементов. Отмечается индивидуальный специфический характер наиболее резко концентрирующихся элементов для разных типов промышленности. Основными элементами загрязнения донных осадков являются ртуть, серебро, кадмий, свинец. Протяженность зон загрязнения в донных осадках области влияния крупного промышленно-урбанизированного центра достигает 20–25 км.

Поверхностное загрязнение с наибольшей интенсивностью происходит в почвах, снеговом покрове и верхней части грунтов зоны аэрации. Очаги химического загрязнения почв и снега в городах

имеют определенную геохимическую зональность: наибольшая концентрация отмечается вблизи источника загрязнения, к периферии она постепенно снижается. Максимальный уровень загрязнения наблюдается около предприятий цветной и черной металлургии и различных приборостроительных предприятий, меньший — в зоне влияния машиностроительных и химических предприятий. Спектр химических элементов-загрязнителей чрезвычайно широк: практически во всех аномалиях отмечается накопление свинца, меди, цинка, олова, вольфрама, молибдена, хрома и ртути. Как правило, площади центров полиэлементных аномалий в 1,7–2 раза больше площади промышленных зон.

Поверхностное загрязнение почв и грунтов от ТЭЦ распространяется на 5–7 км, предприятий химической и нефтехимической промышленности — на 3–5 км. Так, у нефтеперерабатывающего завода в Капотне (Москва) радиус зоны загрязнения около 5 км. По данным Э.Д. Ершова и др. (1993), для бассейна верхней Колымы зоны запыления от ТЭС прослеживаются на расстояния до 100 км вдоль долин. Формирующиеся вокруг ТЭС золоотвалы также являются источниками поверхностного загрязнения грунтов и почв. На территориях, прилегающих к золоотвалам ТЭС, в год оседает от 36 до 485 т пыли на 1 км², а дальность ее переноса (зона влияния) в направлении господствующих ветров достигает 30 км.

Вокруг населенных пунктов криолитозоны в зимний отопительный период формируются ареалы поверхностного загрязнения грунтов и почв сажей и пылью площадью от 20 до 40–45 км². Контуры этих ареалов согласуются с формой розы ветров.

Выбросы автомобильного транспорта концентрируются на расстоянии 50–100 м от шоссе, в результате чего в этой зоне почвы и грунты сильно загрязнены тяжелыми металлами и нефтепродуктами.

Таким образом, современный город имеет специфическую мозаичную геохимическую структуру, сформировавшуюся стихийно, которая фиксируется полиэлементными геохимическими полями, центры которых приурочены к различным источникам антропогенного загрязнения. По времени действия источников загрязнения в городах Р.С. Смирнова (1982) выделяет четыре типа территорий: устойчивого, реликтового, современного загрязнения и территории, где загрязнение отсутствует. Устойчивое загрязнение устанавливается по совпадению очагов загрязнения во всех компонентах природной системы и соответствует наличию техногенного геохимического поля. Реликтовое загрязнение фиксируется наличием техногенной геохимической аномалии только в одном из компонентов геологической среды (например, в почвах) и не подтверждается аномальными концентрациями в атмосфере. Территории, где обнаруживается техногенная аномалия только в атмосфере, относятся к категории нового современного загрязнения.

В городах наряду с химическим развивается и биологическое загрязнение (в основном микробиологическое) грунтов и подземных вод. Общее биохимическое загрязнение грунтов от работы городского коллектора, состоящего из теплотрассы, водопроводной и канализационной сети, может распространяться на расстояние до 20 м по обе стороны от оси коллектора. В результате развития микроорганизмов в условиях интенсивного загрязнения геологической среды возникают различные негативные явления. Ярким примером негативного антропогенного воздействия, включающего и биохимическое загрязнение, служат свалки различных отходов. При аэробном разложении внутри свалок накапливаются растворенные органические вещества сложного состава. Просачивающиеся через свалки поверхностные воды приобретают агрессивность из-за подкисления этими соединениями и могут растворять карбонатные породы, вызывать коррозию подземных сооружений. В случае плохой аэрации происходит активное выделение таких газов, как аммиак, сероводород, метан и др. Высокие концентрации аммиака способствуют бурному развитию нитрифицирующих микроорганизмов, для которых источником энергии служит реакция окисления аммиака в азотную кислоту. Эта группа микроорганизмов способна интенсивно разрушать стены и фундаменты зданий, расположенных вблизи свалок. Повышенное выделение сероводорода губительно сказывается на живых организмах, усиливает коррозию металлов, повышает агрессивность грунтов и подземных вод. Если внутри свалки накапливается в избытке метан, то распространяясь в прилегающих почвах, грунтах и подземных водах, он угнетает растительность за счет массового развития метилотрофных бактерий и микроорганизмов, резко снижающих концентрацию кислорода в среде, который расходуется на окисление метана.

К территориям, примыкающим к городу, приурочены обычно такие источники загрязнения геологической среды, как различные склады химических веществ и сырья, очистные сооружения, поля орошения, полигон твердых бытовых отходов (ТБО). Исследования полигонов ТБО, проведенные В.В. Бабаком и С.В. Делятицким, показали, что поверхностное загрязнение (химическое и биохимическое) распространяется от полигонов на расстояние до 3 км, а загрязнение грунтовых вод охватывает площади: 1 км² — крупные полигоны ТБО с объемом отходов до нескольких млн м³; 0,5 км² — средние полигоны ТБО (сотни тыс. м³); до 5 га — мелкие полигоны ТБО (десятки тыс. м³). При этом биохимический разогрев толщи бытовых отходов обуславливает развитие тепловых аномалий с температурой до 50°С и радиусом до 30 м и более.

Сточные воды городских территорий относятся к категории бытовых, что определяет особенности их состава и санитарно-гигиенические характеристики. В их составе преобладают: продукты обмена веществ

в организме человека, остатки пищи, мыла, синтетических моющих средств и других продуктов бытовой химии. Для них характерно также загрязнение микрофлорой (кишечной палочкой, возбудителями дизентерии, вирусных заболеваний и др.). Бытовые сточные воды характеризуются интенсивным запахом, значительной мутностью и окраской, присутствием значительного количества взвешенных веществ и плавающих примесей, низкой прозрачностью, наличием пены, высокими значениями БПК и коли-индекса (см. разд. 1.5). Наиболее частый способ удаления сточных вод — сброс их в водоемы, что является основной причиной их загрязнения, а также загрязнения прилегающей части геологической среды. В крупных городах для очистки стоков служат станции аэрации, включающие комплекс **очистных сооружений** — решетки, песколовки, отстойники, аэротенки или биофильтры, метантенки и др. В целях охраны водоемов от загрязнений рекомендуется также применение бытовых сточных вод на сельскохозяйственных полях орошения.

Поля орошения — это земельные участки, подготовленные для естественной биологической очистки бытовых сточных вод. Принцип почвенного метода очистки сточных вод основан на естественной способности почв к биохимическому окислению поступающих в нее органических веществ до простых соединений, усваиваемых растениями. Процесс протекает в аэробных условиях и осуществляется в результате жизнедеятельности почвенных микроорганизмов. Современные поля орошения делятся на группы: коммунальные поля орошения, на которых санитарно-технические задачи сочетаются с выращиванием сельскохозяйственных культур; поля фильтрации, где осуществляется биологическая очистка осветленных сточных вод путем фильтрации через почвенные горизонты без использования их в сельскохозяйственных целях; сельскохозяйственные поля орошения, представляющие собой специализированные гидромелиоративные системы (см. разд. 7.4).

Наилучшими по эффективности использования для полей орошения являются легкие песчаные или супесчаные почвы. Поверхность поля разбивают на участки (карты) площадью от 0,5 до 16 га и ограждают земляным валом высотой 0,8–1,0 м. Поверхность карт оставляют ровной или нарезают бороздами. Оросительная сеть состоит из трубопроводов, отстойников, насосной станции, регулирующих емкостей, каналов и разводящей поливной сети. Подача воды на поля происходит самотеком по открытым каналам.

Суточные нормы нагрузки для коммунальных полей орошения составляют от 15 до 50 м³/га. С ростом городов, резким увеличением количества сточных вод поля орошения оказались большей

частью перегруженными и перестали отвечать своему главному назначению — очистке и обезвреживанию вод. На полях орошения стали осуществлять только фильтрацию сточных вод без их использования для выращивания сельскохозяйственных культур. Такие участки в отличие от полей орошения называют полями **фильтрации**, на них механически очищенные сточные воды летом подаются в карту сплошным заливом слоем 20–30 см, зимой — до 75 см. После фильтрации сточной жидкости в почву и верхний слой грунта поверхность карты перепахивают и снова заполняют сточной водой и т.д. На коммунальные поля орошения сточные воды поступают по полосам и бороздам. Суточные нормы нагрузки для полей фильтрации составляют от 40 до 125 м³/га. В настоящее время при градостроительстве устройство новых полей фильтрации ограничено и целесообразно только как временная мера.

В крупных промышленных городах кроме органики самым мощным загрязнителем являются также соединения серы, которые входят в состав выбросов почти всех промышленных предприятий. Сернистые соединения, попадая в почвы, грунты и воду, вовлекаются в цикл превращений в аэробном и анаэробном комплексах микробиологической системы. В анаэробной зоне образующийся сероводород вызывает коррозию металлов, образуя сульфиды. В аэробной — развиваются тионовые бактерии, вызывающие сернокислотное выветривание горных пород, кислотную коррозию металлических сооружений и строительных материалов, растворение карбонатных пород. Следует отметить, что многие геохимические процессы, происходящие на территории города с участием микроорганизмов, еще до конца не изучены.

При организации наблюдательной сети мониторинга за **микробиологическими процессами** в геологической среде города на первом этапе исследований, сопоставляя условия жизнедеятельности микроорганизмов с физико-химической обстановкой среды их обитания, можно составить карту-схему для территории города с выделением на ней возможных микробиологических процессов (рис. 40). На ней могут быть выделены следующие зоны:

1) зона, характерная для промышленных и примыкающих к ним селитебных районов с интенсивным загрязнением органическими веществами и соединениями серы; зона кислых и слабокислых грунтовых вод с высоким содержанием сульфат-иона, катионов металлов, растворенных органических веществ; интенсивной кислотной коррозии и выветривания; в анаэробной зоне возможна сероводородная коррозия металла с осаждением сульфидов;

2) зона, характерная для селитебных районов, удаленных от промышленной зоны; реакция среды слабокислая, нейтральная и слабощелочная; опасность коррозионных процессов возрастает в зонах утечек из канализации и в прогреваемых грунтах у теплопроводов;

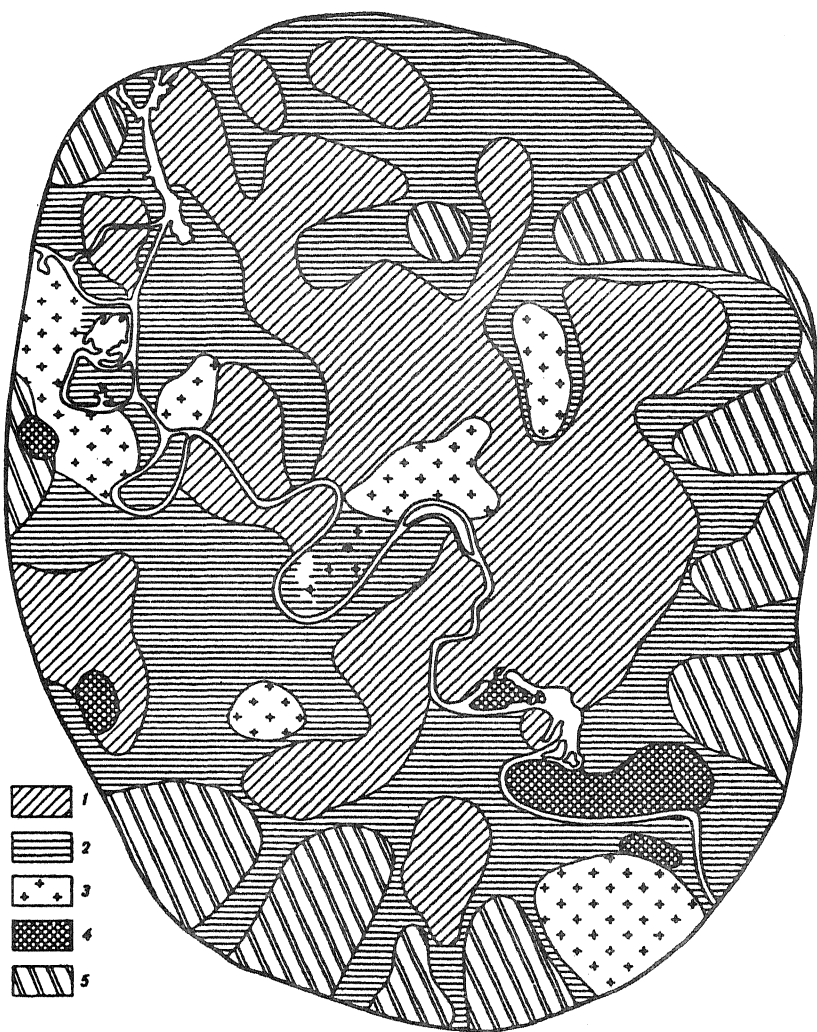


Рис. 40. Карта-схема возможных микробных процессов в геологической среде города. Зоны: 1 — развития гетеротрофной микрофлоры с усилением микробных процессов превращения серы и металлов; 2 — развития гетеротрофов с локальным преобразованием соединений серы, азота, образования и окисления метана; 3 — развития гетеротрофов с преобладанием микробных процессов превращения соединений азота; 4 — развития метанообразующих и метанооксиляющих бактерий; 5 — сбалансированного развития микробной системы (по Л.В. Бахиревой и др., 1989)

3) зона, характерная для районов пищевой промышленности (главным образом мясомолочной) и бывших сельскохозяйственных угодий; в грунтовых водах присутствует нитратное загрязнение, реакция сре-

ды нейтральная, слабощелочная, щелочная; в анаэробных условиях возможны процессы аммонификации и денитрификации с выделением аммиака и окислов азота; в аэробных условиях возможна кислотная коррозия сооружений вблизи очагов выделения аммиака, обеспечивающего развитие нитрификаторов;

4) зона, характерная для районов с интенсивным поступлением органических загрязнений из свалок и полей орошения; реакция среды нейтральная; возможны процессы коррозии и угнетения растительности вблизи свалок;

5) зона, характерная для лесопарковой территории с фоновым развитием микробиологических процессов.

После выделения перечисленных зон (см. рис. 40) наблюдательная сеть мониторинга может быть размещена и организована таким образом, чтобы полнее учитывать особенности распространения тех или иных форм микроорганизмов. Впоследствии при функционировании мониторинга и сами зоны, и наблюдательная сеть могут уточняться и дополняться. Следует также иметь в виду, что наблюдательная сеть мониторинга за химическими и биохимическими процессами в геологической среде города должна быть по возможности более тесно увязана с городской санитарно-эпидемиологической службой (СЭС) и пунктами ее наблюдения.

На территории города существует и такое специфическое воздействие на геологическую среду, как электрическое или электромагнитное воздействие, источниками которого являются промышленные и энергетические установки, электрифицированные железные дороги, трамвайные и троллейбусные линии, станции катодной противокоррозионной защиты, электросети. Так, создаваемое системой городского энергоснабжения электрохимическое поле посредством возникающих «блуждающих токов» распространяется на расстояние до 50 м от оси кабельного коллектора. Электрохимическое воздействие от электрифицированной железной дороги, определяемое также наличием поля блуждающих токов, распространяется по обе стороны от оси полотна на расстояние до 5 км.

Поскольку процесс подземной коррозии имеет электрохимический характер, то наличие блуждающих токов в грунтах сказывается прежде всего на увеличении коррозионной активности грунтов. Кроме того, длительное воздействие блуждающих токов может обуславливать развитие различных электрокинетических процессов в грунтах, особенно глинистых, может изменять величину удельного электрического сопротивления грунтов и тем самым менять общую коррозионную обстановку, что также необходимо иметь в виду при организации наблюдательной сети мониторинга геологической среды.

Радиационное загрязнение в городах, к сожалению, происходит как результат преступного, халатного обращения с радиоактивными

компонентами и неконтролируемого выброса радиоактивных источников на городские свалки. Обнаружение каждого такого очага или источника загрязнения на территории города является чрезвычайным событием, а сам очаг подлежит экстренной проверке СЭС и немедленной ликвидации. В связи с этим городским санитарно-эпидемиологическим надзором регулярно проводится радиометрическая съемка потенциально опасных территорий в целях оперативного обнаружения радиоактивных очагов загрязнения.

Для учета рассмотренных выше факторов и создания обоснованной системы мониторинга городской территории или городской агломерации должна быть последовательно выполнена серия операций, включающая: анализ инженерно-геологических условий территории города и ее типизацию; анализ и типизацию техногенного воздействия; выявление характера и интенсивности изменений геологической среды и ее компонентов; оценку количественных показателей состояния геологической среды и ее изменения. При этом должна соблюдаться общая методика формирования наблюдательной сети мониторинга, построения ПДМ, создания прогнозных моделей и принятия управляющих решений, описанная выше.

Получаемая в ходе мониторинга геологической среды информация должна учитываться и использоваться городской администрацией, администрацией городских округов (районов) для оперативного выявления различных источников ущерба, выявления критических факторов воздействия в городской среде, определения допустимых нагрузок на городскую среду, оценки эффективности и целесообразности применения различных форм строительства и других видов освоения городской территории и т.п.

7.4. МОНИТОРИНГ РАЙОНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО И ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОГО ОСВОЕНИЯ

Поскольку районы сельскохозяйственного использования часто являются и районами гидромелиоративного освоения, их целесообразно рассмотреть вместе при анализе особенностей организации мониторинга геологической среды. Земельный фонд Российской Федерации по данным на 1993 г. составляет 1,7 млрд га. В пользовании сельскохозяйственных предприятий находится 650 млн га, в том числе сельхозугодий — 215 млн га, из них пашни — 132 млн га.

Районы сельскохозяйственного использования характеризуются специфическим набором техногенных воздействий на геологическую среду, что необходимо учитывать в первую очередь при организации наблюдательной сети мониторинга. Территория, на которой осуществляется сельскохозяйственная деятельность в зависимости от вида деятельности, испытывает разную нагрузку. В связи

с этим необходимо различать определенные виды этой деятельности: овощеводство, выращивание зерновых культур, выращивание технических культур (лен, хлопок, подсолнечник, табак и др.), выращивание кормовых культур, животноводство (выращивание крупного рогатого скота, свиноводство, овцеводство, птицеводство и др.).

Каждый вид сельскохозяйственной деятельности и ее продукции характеризуется приуроченностью к определенным ландшафтно-климатическим зонам, агропочвенным комплексам, гидрогеологическим условиям территорий, что надо иметь в виду при организации мониторинга. Выращивание множества сельскохозяйственных культур предполагает использование часто принципиально различных агротехнических приемов, внесения разных по составу удобрений, разных режимов полива и т.д. Те или иные отрасли животноводства также оказывают разное воздействие на окружающие ландшафты и геологическую среду. Например, с овцеводством, в частности с перевыпасом овец, в горных областях связаны такие широко распространенные процессы, как эрозия почв (пастбищная эрозия), активизируемая вслед за ней ветровая и водная эрозия, общее угнетение ландшафтов и растительности, стимулирующее развитие негативных склоновых процессов, в том числе — селей. Такие цепочки можно проследить применительно к каждому виду сельскохозяйственной деятельности, их учет должен лежать в основе разработки систем мониторинга. Примером землепользования, когда недопустима высокая техническая нагрузка на ландшафт приводит к негативным результатам, являются Черные земли Калмыкии, где ежегодно площадь песков возрастает на 40–50 тыс. га (данные Агропрома). Пастбища не выдерживают давления промышленного животноводства и деградируют.

С сельскохозяйственной деятельностью в основном связаны такие техногенные воздействия на геологическую среду, как:

химическое загрязнение почв, горных пород, подземных вод, возникающее за счет избыточного внесения гербицидов, пестицидов, удобрений, использования ядохимикатов;

биохимическое и микробиологическое загрязнение почв, грунтов и подземных вод за счет складирования кормов, силосных ям, избыточного внесения навоза, неправильного его хранения, утечек сточных вод на животноводческих фермах, сельскохозяйственных полей орошения и т.д.;

искусственные поливы, вызывающие подтопление территорий или вторичное засоление почв и грунтов, нарушающие гидрогеологический режим;

эрозия и деградация почв, провоцируемая как неправильными агротехническими приемами, так и другими антропогенными факторами, в частности перевыпасом скота и т.п.

Характерной особенностью техногенных воздействий в районах сельскохозяйственной деятельности является то, что практически все техногенные воздействия в этих районах в первую очередь действуют на почву как самый верхний, ничем не защищенный от воздействий горизонт зоны аэрации. Поэтому почва оказывается главным индикатором устойчивости геологической среды к техногенным воздействиям, ее чувствительности и измененности. Почва представляет собой основную границу раздела, где идут активные процессы тепло- и массопереноса, это аккумулятор большинства техногенных химических загрязнений, главный сорбент и разрушитель многих токсикантов. Однако буферная способность почв неограничена. Это обстоятельство выдвигает на первый план организацию почвенного мониторинга в районах сельскохозяйственной деятельности как подсистемы мониторинга геологической среды.

Следует отметить, что сеть систематического контроля за состоянием и загрязнением почв пока в пределах России крайне ограничена и в сущности еще в должной мере не организована. В системе общего мониторинга окружающей среды главное внимание уделяется загрязнению воздуха и водоемов, а почвы и грунты, к сожалению, стоят на одном из последних мест. Так, к 1985 г. число установленных ПДК веществ, загрязняющих водоисточники, превышало 800, загрязняющих атмосферный воздух, — около 300, а для почв и грунтов — всего лишь около 20.

Впервые идея создания почвенного мониторинга (педомониторинга) была высказана в 80-е годы. Необходимость организации такой службы все более возрастает, поскольку размеры антропогенной нагрузки на почвы с каждым годом увеличиваются.

Комплексный почвенный мониторинг должен быть направлен на достижение важнейших целей. Общий перечень задач, стоящих перед почвенным мониторингом, достаточно широк. На современном этапе главными из них, согласно Г.В. Добровольскому, В.А. Ковде, Л.А. Гришиной, Д.С. Орлову, В.Д. Васильевской и др., являются:

- 1) своевременное (раннее) обнаружение неблагоприятных изменений свойств почв и почвенного покрова при различных видах его использования, а также при развитии естественного почвообразовательного процесса;
- 2) контроль за состоянием почв по сезонам года (динамика свойств) под сельскохозяйственными культурами для выдачи своевременных рекомендаций по применению регулирующих мероприятий;
- 3) оценка среднегодовых потерь почв (скорости потерь почвы в результате дождевой, ирригационной и ветровой эрозии);
- 4) обнаружение регионов с дефицитным балансом основных элементов питания растений, обнаружение и оценка скорости потерь гумуса, азота и фосфора;

5) контроль за изменением кислотности и щелочности почв, особенно в районах с внесением высоких доз минеральных удобрений, а также при ирригации, использовании при мелиорации промышленных отходов и в крупных промышленных центрах, характеризующихся высокой кислотностью атмосферных осадков;

6) контроль за изменением солевого режима орошаемых и удобряемых почв;

7) контроль за загрязнением почв тяжелыми металлами вследствие глобальных выпадений;

8) контроль за локальными загрязнениями почв тяжелыми металлами в зоне влияния промышленных предприятий и транспортных магистралей, а также пестицидами в регионах их постоянного использования, детергентами и бытовыми отходами на территориях с высокой плотностью населения;

9) долгосрочный и сезонный (по фазам развития растений) контроль за влажностью, температурой, структурным состоянием, водно-физическими свойствами почв и содержанием в них элементов питания растений;

10) экспертная оценка вероятного изменения свойств почв при проектировании гидростроительства, мелиорации, внедрении новых систем земледелия, удобрений и т.п.;

11) инспекторский контроль за размерами и правильностью отчуждения пахотно-пригодных почв для промышленных и коммунальных целей.

Практическая организация почвенного мониторинга в России должна основываться на опыте зарубежных стран и собственных научных проработках. Вследствие огромных размеров территории страны, а также недостаточной технической оснащенности почвенный мониторинг целесообразно проводить не на всей площади, занятой почвами (как принято в большинстве европейских стран), а на фиксированных **контрольных участках**, репрезентативно характеризующих почвенный покров территорий, на которых проводится разбивка наблюдательной сети СППИНФов. Такие участки выбираются в пределах одного водосборного бассейна и занимают площади от нескольких десятков гектаров до нескольких квадратных километров, они должны быть гидрологически изолированными и максимально однородными в геологическом отношении. Внутри зоны водосбора необходимо наличие достаточно широкой представительности доминирующих типов фитоценозов и почв региона.

Для контроля загрязнений пробные участки располагают на разном расстоянии от источников загрязнений в соответствии с общими требованиями к разбивке наблюдательной сети СППИНФов. Фоновые участки должны находиться вне зоны действия источников загрязнения, на расстоянии не менее 10–15 км. При высоких фоновых уровнях

загрязняющих веществ это расстояние может быть меньшим, при низких — большим. Все участки должны характеризоваться сходным составом и свойствами почв, природных вод и растительного покрова. При проведении фоновой мониторинга следует осуществлять наблюдения за возможно большим числом естественных биогеоценозов.

Текущий контроль за состоянием сельскохозяйственных угодий проводится с применением сплошной площадной аэро- или космической съемки при выборочном контроле на стационарных или временных наземных пунктах наблюдения мониторинга (СППИНФ). При этом контрольными являются поля с традиционной системой земледелия без наложения химических или гидротехнических мелиораций.

Существенными вопросами в почвенном мониторинге являются выбор контролируемых показателей, периодичность наблюдений и методы измерений. **Контролируемые показатели** для почв частично отличаются от таковых для грунтов, что обусловлено спецификой почв как особых природных образований. Перечень показателей должен быть оптимальным, обеспечивающим реальность исполнения и не вызывающим потерю информации. Система контролируемых показателей должна включать обязательные для всех видов почв и специфические для почв одного или нескольких типов параметры, а также показатели, обусловленные природой различных загрязняющих веществ. Согласно Э.Н. Гапонюк и С.Г. Малахову (1989), общая система показателей для почвенного мониторинга представлена в табл. 21.

В почвенном мониторинге сложились определенные наборы показателей ранней, текущей и долгосрочной диагностики, которые позволяют оценивать изменения почв на разных стадиях и этапах техногенного воздействия. К показателям **ранней диагностики**, определяемым несколько раз за сезон и позволяющим выявить начальные стадии изменений почв, относятся: показатели биологической активности почв, численный и видовой состав микроорганизмов и беспозвоночных, их биомасса; ферментативная активность почв, интенсивность выделения CO_2 ; характеристики кислотно-основного, ионно-солевого режимов почв и pH.

Показатели **текущего контроля** и среднесрочной диагностики определяются с периодичностью от одного раза за сезон до одного раза в 2–5 лет. К ним относятся показатели катионообменных свойств почв; содержание доступных для растений элементов; мощность и запасы подстилки; состав гумуса. Для **долгосрочной диагностики** показатели контролируются один раз за 5–10 лет и более. К ним относятся: валовый состав почв, включая содержание тяжелых металлов, минеральный состав; содержание и запасы гумуса; показатели структуры и физических свойств почв.

Контролируемые показатели почвенного мониторинга
(по Э.Н. Гапонюк и С.Г. Малахову, 1989)

Оцениваемые показатели	Основные показатели	Дополнительные показатели
Степень загрязнения	Общее содержание загрязняющих веществ в почве, мг/кг Коэффициенты накопления	
Физико-химические	pH, eH Гидролитическая кислотность, мг · экв/100 г	Титруемая щелочность, мг · экв/100 г Содержание карбонатов (бикарбонатов) Содержание окисленных и восстановленных форм элементов с переменной валентностью
Общие показатели	Сумма поглощенных оснований, мг · экв/100 г Микроагрегатный и гранулометрический составы Удельная электропроводность, 1/ом · см	Емкость катионного обмена, мг · экв/100 г Степень засоления, % Сухой остаток, % Степень эродированности, %
Миграционные	Содержание экстрагируемых форм химических элементов, мг/л Транслокация в растения Испарение Миграция по профилю	Подвижность органико-минеральных компонентов, мг/л
Буферные	Устойчивость гумуса Устойчивость почвенного поглощающего комплекса Устойчивость кислотно-основных свойств Устойчивость ферментативной активности	Обобщенный показатель реакции почвы на загрязнение
Агрохимические	Общее содержание гумуса, % Общее содержание азота, фосфора, калия, %	Групповой состав гумуса Содержание водорастворимых органических веществ, мг/100 г Содержание подвижных форм азота, фосфора, калия, мг/кг
Токсические	Активность дегидрогеназ, мкл N ₂ /г в сут Дыхание почвы (по выделению CO ₂ или поглощению O ₂ , % Фитотоксичность (по изменению энергии прорастания), %	Общая каталитическая активность (разложение перекиси) Активность ферментов в циклах углерода, азота и фосфора Влажность завядания, % Содержание токсичных форм элементов

В зависимости от распространения почв в пределах различных ландшафтов (лесных экосистем, сельскохозяйственных угодий разных типов, городских и парковых, садовых и т.д.) организация системы мониторинга имеет свои особенности как по структуре, так и по контролируемым показателям, что обусловлено, прежде всего, разным характером техногенных воздействий в пределах этих ландшафтов.

Например, мониторинг почв лесных экосистем связан в основном с контролем загрязнений, образующихся в результате глобальных выпадений из атмосферы химических веществ или глобальных климатических изменений. Техногенное воздействие на почвы лесных экосистем связано с последствиями вырубки лесов, прокладкой дорожных магистралей, продуктопроводов, линий связи и ЛЭП, собственно антропогенной нагрузкой. По мнению многих ученых, наибольший ущерб биосфере планеты наносится именно вырубкой лесов, которые являются продуцентами органического вещества и кислорода на планете, выполняют климатообразующую, водоохранную, противоэрозионную и санитарную функции. Леса в значительной степени определяют не только сохранение экологического равновесия, нормальное функционирование биосферы, но существенно влияют и на компоненты геологической среды, во многом обуславливая гидрогеологические, геокриологические и инженерно-геологические условия территории. По разным данным за исторический период человеком уничтожено от 15 до 67% первоначальной площади лесов (каждую минуту в мире уничтожается 20 га леса). Тропические леса вырублены на 50% площади, а в умеренной зоне площадь лесов сократилась на 30–40%, при этом в Великобритании осталось всего 5% первоначальной площади лесов, в Центральной и Южной Европе — 8–20, в Финляндии и Швеции — 50–65; в США — 50%.

Наибольшее количество загрязнителей в почвы лесных экосистем поступает из атмосферы в виде глобальных и региональных выпадений. Среди них наиболее опасны сера и ее соединения (SO_2 и др.), оксиды азота и углерода, тяжелые металлы, микроэлементы, фториды, озон, углеводороды. Глобальные выпадения серы связаны с выбросами ее в атмосферу в результате функционирования топливно-энергетической промышленности, формирующей так называемые сернистые ландшафты (рис. 41). Из атмосферы соединения серы в результате соединения с водяными каплями облаков и дождей выпадают чаще всего в виде так называемых “кислотных дождей”, pH которых снижается до 3,0–5,5, что намного ниже по сравнению с обычными (pH=5,6–5,7). В Западной Европе зарегистрированы отдельные кислотные дожди с pH=2,0–3,0. В России закисление осадков характерно для всей западной части европейской территории (pH=4,5–4,9). Фоновые поступления в почву соединений серы с осадками составляют по разным данным от 2 до 10 кг на 1 га за год. В промышленных

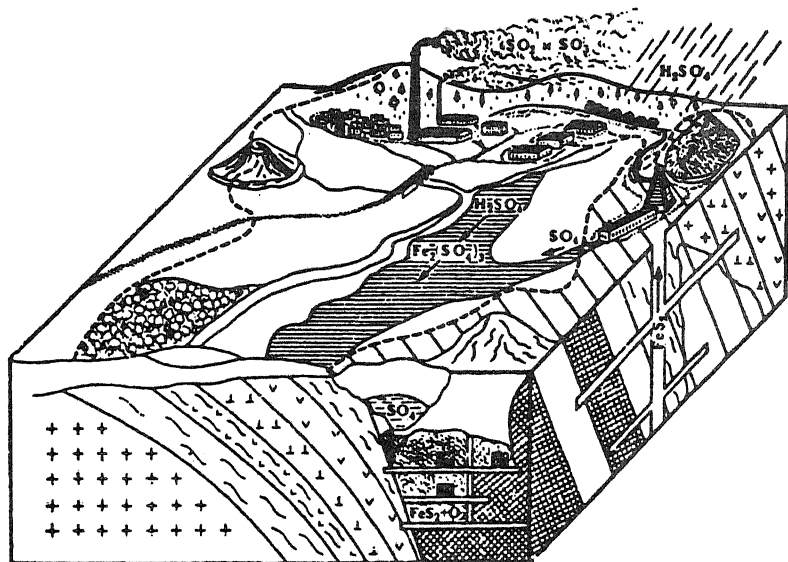


Рис. 41. Блок-диаграмма сернокислого ландшафта (по В.Г. Прохорову)

районах эти цифры намного превышаются и достигают 60–100 кг/га за год, а в Рурской области, например, поступление серы составляет 1800 кг/га за год.

Таблица 22

Расчетные величины поглощения атмосферных загрязнителей лесными экосистемами Земли, кг/год (по Л.А. Гришиной и др., 1991)

Загрязнитель	Компоненты лесных экосистем:		
	растительность	почвы	сумма
Диоксид углерода	$70 \cdot 10^{12}$	—	—
Оксид углерода	$5 \cdot 10^{10}$	$50 \cdot 10^{10}$	$55 \cdot 10^{10}$
Диоксид серы	$0,675 \cdot 10^{12}$	$200 \cdot 10^{12}$	$201 \cdot 10^{12}$
Окись азота	$1 \cdot 10^{11}$	$35 \cdot 10^{11}$	$36 \cdot 10^{11}$
Углеводороды (этилен)	—	$40 \cdot 10^9$	—
Озон	$0,03 \cdot 10^{12}$	$45 \cdot 10^{13}$	$45 \cdot 10^{13}$
Свинец	—	$100 \cdot 10^6$	—

Часть атмосферных выпадений задерживается растениями, а часть проникает в почву и оттуда в грунты и подземные воды. Некоторые данные об атмосферных загрязнителях, поглощаемых лесными экосистемами, приведены в табл. 22, а критические кислотные нагрузки на почвы указаны в приложении 5.

Выбросы токсичных металлов в виде пыли и аэрозолей составляют до 0,5 млн т за год, выбросы же механических и химических загрязнителей в виде пыли — 200–250 млн т/год. Источниками этих выбросов чаще всего являются теплоэлектростанции, цементные и металлургические заводы. Например, выпадения цементной пыли вблизи цементного завода составляют около 3 кг/год на 1 м², в фоновых районах на поверхность почвы поступает почти в тысячу раз меньше пыли — 7–10 г/год на 1 м². ПДК некоторых элементов в почвах указаны в приложении 6.

В районах сельскохозяйственных угодий и различных видов земледелия загрязнение почв связано прежде всего с внесением удобрений (азотных, калийных, фосфорных), обработкой культур пестицидами и гербицидами. Нормирование загрязнения почв с разработкой научно обоснованных ПДК — задача еще далеко не решенная.

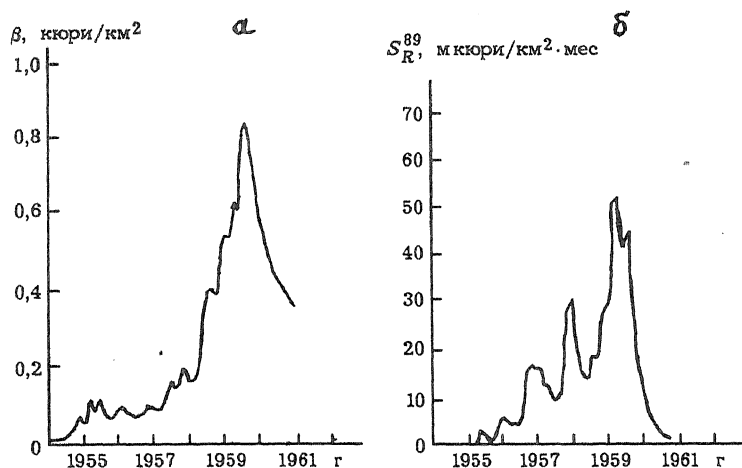


Рис. 42. Накопление суммы β -активных продуктов, выпавших в окрестностях Санкт-Петербурга (а) и плотность глобального выпадения Sr-89 в Англии (б) за период 1954–1960 гг. (по С.В. Нершину и А.Ф. Чудновскому, 1967)

Для оценки фоновых значений показателей почв необходимо выявление участков почв, не затронутых сельскохозяйственной деятельностью. В настоящее время целинные земли сохранились лишь в ряде заповедников. Одним из методов оценки техногенной "ненарушенности" почв (и грунтов верхней зоны аэрации) является изотопный анализ по определению содержания цезия-137 — одного из компонентов глобальных радиоактивных выбросов после начала испытаний ядерного оружия в атмосфере в период 1954–1966 гг. (рис. 42). В США этот метод используется для оценки эродированности почв. Суть метода заключается в том, что цезий-137 сорбируется почвой в

верхних 5 см, если данная почва "целинная". Если же она обрабатывалась, перемешалась и т.д., то распределение цезия-137 по профилю будет равномерным или более сложным. Таким образом, отбирая пробы по профилю и определяя на гамма-спектрометре абсолютную и относительную концентрацию в них изотопа цезия-137, затем делают вывод о ненарушенности или нарушенности данной почвы (по крайней мере за период с 1954 г.).

При организации мониторинга в районах земледелия следует иметь в виду и оценку геохимической устойчивости почв, в частности, устойчивость к техногенному подкислению. Последняя обусловлена наличием в почвах нескольких буферных зон, главными из которых являются:

карбонатная зона ($6,2 < \text{pH} < 8,6$), характерная для карбонатных почв и обладающая высокой буферной емкостью, активно нейтрализующей кислотные дожди (см. приложение 5);

силикатная зона ($5 < \text{pH} < 6,2$), обусловлена реакциями выветривания силикатов, обладает низкой буферной емкостью;

катионообменная зона ($4,2 < \text{pH} < 5$), обусловленная реакциями ионного обмена и определяемая величиной емкости обмена;

алюминиевая зона ($3 < \text{pH} < 4,2$), обладающая высокой буферной емкостью и обусловленная реакциями свободного водорода с алюмосодержащими минералами.

Наряду с этими зонами вклад в буферность почв вносят железосодержащие соединения и органическое вещество почв. Установлено, что сильнокислые, высокобуферные, близкие к нейтральным, или щелочные почвы сравнительно устойчивы к подкислению при современном уровне антропогенной кислотной нагрузки. Однако слабокислые почвы, обладающие низкой буферностью, промывным типом водного режима и слабой способностью к связыванию анионов (особенно сульфатов), могут быть чувствительными к длительному кислотному воздействию (см. приложение 5).

Расширение сети мониторинга почв на основе единой комплексной программы позволит оценить состояние и дать прогноз антропогенной эволюции почв в условиях промышленного загрязнения разного состава и интенсивности, более четко выявить параметры устойчивости почв и величины критических нагрузок на них.

В районах гидромелиоративного освоения территорий мониторинг геологической среды должен строиться с учетом основных особенностей гидромелиоративного строительства. К ним относятся: большие осваиваемые площади территорий при сравнительно малой глубине (мощности) техногенного мелиоративного профиля; тесная зависимость почвенно-мелиоративных условий территорий от их инженерно-геологических и гидрогеологических условий; часто

отсутствие возможности выбирать “лучшие” геологические условия на мелиорируемых территориях.

В Российской Федерации около 6 млн га орошаемых (в основном Поволжье, Северный Кавказ, низовья Дона) и более 5 млн га осушаемых земель. Из-за недостатков проектирования, низкого качества строительства и культуры эксплуатации мелиоративных систем значительная часть земель находится в неудовлетворительном состоянии. Так, около 60% сельскохозяйственных угодий расположено на эродированных и эрозионно-опасных землях.

Площади вовлеченных в мелиорацию земель нередко соизмеримы с площадью крупных геологических регионов. При этом наибольшие изменения геологической среды проявляются на особенно крупных орошаемых массивах земель в южных районах России, в равнинно-степных условиях Средней Азии (особенно в Узбекистане и Казахстане), на юге Украины, в Крыму. А среди них наиболее сильные эволюционные преобразования геологической среды отмечаются в староорошаемых районах, таких, как бассейн Амударьи и Аральского моря, где вслед за изменением гидрогеологических и мелиоративных условий изменился и микроклимат территории, и основные ландшафтные компоненты — почвы, растительность, животный мир.

При мелиоративном освоении территорий происходят три основные группы изменений геологической среды, которые необходимо иметь в виду при планировании и создании системы мониторинга:

- 1) изменения, связанные с регулированием и перераспределением речного стока для гидромелиораций;
- 2) изменения, связанные с ведением собственно орошаемого земледелия;
- 3) изменения, сопутствующие гидромелиорации и связанные с ней косвенно.

К первой группе относятся изменения геологической среды, обусловленные: осушением естественных водоемов; затоплением и подтоплением территорий; переработкой берегов при создании водохранилищ; аккумуляцией ирригационных осадков; изменением гидростатического напора в породах; развитием явлений подпора подземных вод. Эта группа факторов вызывает наиболее существенные изменения геологической среды. И здесь уместно упомянуть проблему переброски ряда сибирских рек в засушливые районы Средней Азии, которая активно дебатировалась на разных уровнях в 70–80-е годы.

Со второй группой связаны изменения геологической среды, обусловленные собственно орошаемым земледелием и его последствиями: изменением водно-солевого баланса пород зоны аэрации; изменением режима и запасов подземных вод под орошаемыми полями; подтоплением и заболачиванием территорий; вторичным засолением почв

и грунтов. Все эти отрицательные явления часто вызваны неправильной организацией мелиоративной системы или ее неправильной эксплуатацией, нарушением технологий. При орошении за счет потерь на инфильтрацию возрастает дополнительное питание грунтовых вод. С оросительной водой в грунтовые воды часто поступает значительная масса солей, их концентрация может существенно возрасти и при растворении солей, содержащихся в породах зоны аэрации. При подъеме грунтовых вод в районах с низкой естественной дренированностью до глубин 3–4 м и менее резко возрастает их расход на испарение и транспирацию растениями, что при недостаточности естественного и искусственного дренажа приводит к засолению почв и грунтов и соленакоплению в грунтовых водах. Выделение засоленных и незасоленных грунтов проводится по СНиП 2.02.01–83.

В аридной зоне основная проблема орошения – борьба с вторичным засолением почв. Вторичное засоление почв и пород зоны аэрации развивается, когда в условиях плохого дренажа за счет орошения уровень подземных вод поднимается до глубин 2–3 м от поверхности. Интенсивное испарение капиллярной воды и ее расход на транспирацию растениями вызывает выпадение солей из порового раствора на поверхности минеральных частиц и почвенной органики. Кристаллизующиеся соли закупоривают поровое пространство почв и грунтов, снижают их фильтрационную способность и капиллярную водопроницаемость, цементируя контакты между частицами, они существенно видоизменяют микро- и макростроение грунтов и почв, что в итоге сказывается на комплексе их физических, физико-химических и физико-механических свойств. Вторичное засоление резко ухудшает естественную дренированность почв и массивов, это в свою очередь вызывает развитие на них процессов заболачивания и подтопления. Несмотря на то, что явление вторичного засоления достаточно хорошо изучено, тем не менее пока отсутствуют основы научного прогнозирования и целенаправленного управления этим процессом. В силу этого существенно возрастает значение мониторинга геологической среды в районах развития вторичного засоления почв и грунтов.

Общий сельскохозяйственный водозабор на территории России составляет около 40 км³/год, при этом на орошение расходуется 32 км³/год. Из них 40% вод оказываются возвратными. Часть этой воды, например, с рисовых полей, относится к категории загрязненных сточных вод.

Наблюдательная сеть мониторинга в районах орошения и прилегающих к ним территориях также имеет свои особенности. Для оценки естественного режима создается сеть контроля фоновых значений параметров геологической среды за пределами мелиорируемых участков, но на сходных по условиям территориях. Основная наблюдательная сеть размещается непосредственно на орошаемых

территориях и представляет собой совокупность специально оборудованных пунктов (наблюдательные скважины, шурфы, водомерные посты и др.), большинство из которых являются элементами опорной наблюдательной сети. Дополнительно создается входящая в общую систему специальная сеть пунктов наблюдений, предназначенная для информирования служб обеспечения нормального функционирования важных хозяйственных объектов.

Сеть на орошаемых территориях в зависимости от ранга территорий создается на региональном, локальном или детальном уровне. Пункты наблюдений размещаются на основе специального районирования территории, таксономическая схема которого приведена в табл. 23.

При этом следует иметь в виду, что формирование режима подземных вод на орошаемых территориях происходит при существенном влиянии техногенных факторов. Поэтому районирование территории для размещения наблюдательной сети следует выполнять на основе сочетания показателей, характеризующих как естественные, так и техногенные условия (табл. 23). Региональная наблюдательная сеть в районах мелиорации размещается в виде створов скважин, пересекающих по направлению потока подземных вод, т.е. из подобластей, выделенных при региональном районировании, где выявлены процессы подтопления и засоления. Локальная наблюдательная сеть размещается на участках, соответствующих отдельным районам или подрайонам, наиболее представительным по сочетанию естественных условий и техногенных факторов подтопления и засоления. В пределах элементарного потока наблюдательные скважины располагаются в наиболее характерных точках: на водоразделе, склоне долины и прирусловой части. Точки максимально концентрируются в зонах, предрасположенных к процессам подтопления и засоления. В областях питания и разгрузки подземных вод пункты наблюдений оборудуются в виде кустов скважин, вскрывающих фильтрами отдельно грунтовые и напорные воды.

Специфическими оросительными гидромелиоративными системами являются так называемые **земледельческие поля орошения**, представляющие собой в отличие от рассмотренных выше (см. разд. 4.3) специализированные гидромелиоративные системы, строящиеся на землях колхозов и совхозов. Почвенная доочистка на таких полях сочетается с использованием очищенных сточных вод для орошения и удобрения сельскохозяйственных угодий. Суточные нормы загрузки сточными водами на земледельческих полях орошения колеблются от 5 до 20 м³/га, т.е. являются самыми низкими из всех типов полей орошения. Земледельческие поля орошения (сезонные и круглогодные) отличаются устройством, оснащением и оборудованием, агротехническими и эксплуатационными приемами. Сточные воды на такие поля поступают по самотечному или напорному трубопроводу

Таблица 23

Опыт Таксономическая схема районирования орошаемых территорий (по Н.М. Умарову
и А.Н. Нурадилову, 1990)

Таксономическая единица	Признак выделения таксона районирования	Масштаб	Фактор формирования подтопления и засоления
Регион	Геоструктура	1:1 500 000	Геоструктурные условия
Область	Морфоструктура, включающая группу бассейнов стока безнапорных вод	1:1 500 000	Расчлененность рельефа, условия дренированности
Подобласть	Часть морфоструктуры в пределах бассейна стока крупной реки, ограниченной водоразделом и руслом	1:200 000	Характер и интенсивность региональных источников техногенного воздействия
Район	Группа элементарных бассейнов стока, обладающих одинаковым геологическим строением	1:200 000	Строение зоны активного водообмена
Подрайон	Элементарные потоки грунтовых вод в пределах водосбора малой реки, конуса выноса	1:200 000 1:25 000	Характер и интенсивность локальных источников техногенного воздействия
Участок	Геоморфологически выраженная часть элементарного потока (пойма, терраса и пр.)	1:200 000 1:25 000	То же
Получасток	Участок элементарного потока в пределах зоны влияния отдельного источника техногенного воздействия	1:25 000 и крупнее	Источники естественного и техногенного питания грунтовых вод

в постоянную оросительную сеть. По трубопроводу или с помощью дождевальной установки они подаются в соответствующую плану полива карту поля. Орошение производят обеззараженными сточными водами с использованием существующих в орошаемом земледелии способов полива: по бороздам, полосам, затоплением, подпочвенным орошением, дождеванием. Наилучшим в санитарном отношении является подпочвенное орошение, полностью исключающее контакт растений со сточной водой.

Считается, что из всех способов почвенной очистки и доочистки сточных вод предпочтение должно отдаваться именно земледельческим полям орошения, где при правильной их эксплуатации одновременно решается проблема эффективной доочистки сточных вод, санитарной охраны водоемов и повышения плодородия земель за счет утилизации элементов, находящихся в стоках. Эти сооружения наиболее экономичны, а малые нагрузки, обуславливающие меньшее загрязнение почвы и лучшие условия минерализации органических веществ, позволяют в меньшей степени опасаться ухудшения результатов очистки в процессе длительной эксплуатации. Тем не менее земледельческие поля орошения должны находиться в сфере пристального контроля в системе мониторинга геологической среды как возможные источники загрязнения грунтов и подземных вод.

При этом необходимо учитывать, что контроль за состоянием окружающей среды в районах земледельческих полей орошения осуществляют органы СЭС. Земледельческие поля орошения разрешается располагать не ближе чем 250–300 м от населенных пунктов, на них запрещается выращивание овощей (в том числе картофеля), ягод, фруктов и бахчевых культур, но разрешено культивирование технических культур, зерновых, кормовых трав, древесных и кустарниковых насаждений.

Сброс без очистки хозяйственно-бытовых сточных вод привел в ряде случаев к химическому и бактериальному загрязнению. Это усугубляется тем, что в некоторых районах России нет централизованного водоснабжения. На территориях Бурятии, Астраханской, Вологодской, Курганской, Ярославской, Новгородской и других областей до 60% населения не имеет централизованного водоснабжения. Часть сельских населенных пунктов в Ростовской, Курганской, Краснодарской, Астраханской и других областях пользуется привозной водой.

В гумидной зоне значительной территории России гидромелиорация часто связана с осушением территорий. За счет искусственного осушения также происходит преобразование основных компонентов геологической среды, которое надо иметь в виду при организации мониторинга: увеличивается глубина залегания подземных вод и соответственно мощность зоны аэрации; возрастает скорость спада

уровня грунтовых вод после выпадения осадков; изменяется химический состав подземных вод; изменяются фильтрационные и физико-механические свойства пород зоны аэрации.

Гидромелиорациям сопутствуют процессы, косвенно связанные с ними: денудация, эрозия почв и грунтов, просадки лессов при замачивании, осадки зданий при замачивании, изменение физико-механических свойств пород в результате процессов засоления-рассоления, набухание и усадка грунтов, формирование суффозионного карста и т.д. Многие из них проявляются во времени постепенно и на их контроль должна быть также направлена наблюдательная сеть мониторинга.

7.5. МОНИТОРИНГ РАЙОНОВ АЭС

Развитие атомной энергетики, увеличение мощностей АЭС и строительство многоблочных крупных энергетических комплексов приводят к изъятию под их строительство значительных территорий. В процессе эксплуатации АЭС используются большие объемы водных ресурсов, возникают дополнительные тепловые и радиационные воздействия на окружающую среду, активизируются некоторые опасные геодинамические процессы, что приводит к характерным изменениям в различных звеньях природной системы. В силу этого в районах размещения АЭС формируются специфические природно-техногенные комплексы, отличающиеся определенными тенденциями изменений геологической среды, иногда приводящими к негативным эколого-экономическим последствиям. Затраты на восстановление естественного равновесия в таких комплексах обычно бывают чрезвычайно высоки.

Поэтому организация мониторинга геологической среды районов АЭС — дело первостепенной важности. В задачи мониторинга геологической среды районов АЭС входят:

- 1) прогноз развития геологической среды и ее элементов;
- 2) разработка рекомендаций и управляющих решений по оптимизации работы всей ПТС;
- 3) повышение надежности функционирования ПТС и экологической безопасности АЭС.

Разносторонние многолетние наблюдения за работой АЭС как в России, так и за рубежом показывают, что объектам атомной энергетики присущ специфический комплекс техногенных воздействий на геологическую среду, который обязательно должен приниматься во внимание при организации мониторинга в районах АЭС. Эти воздействия можно объединить в несколько групп: 1) нарушение водного баланса; 2) изменение состояния и свойств пород в основании сооружений АЭС; 3) повышение активности тепломассопереноса; 4) загрязнение окружающей среды радиоактивностью.

Техногенное нарушение водного баланса в зоне влияния АЭС вызвано, как правило, резким снижением испарения под влиянием застройки и асфальтирования, усилением инфильтрации поверхностного стока, утечками из водных коммуникационных систем и водохранилищ, подпором естественных потоков подземных вод и связано прежде всего с большими объемами технологического водопотребления на АЭС. Указанные нарушения естественного водного баланса бывают столь велики, что даже при активной естественной дренированности территории они значительно превышают влияние гидролого-климатических факторов (в том числе периодов с повышенной водностью года). Интенсивное техногенное питание подземных вод способствует быстрому повышению уровней грунтовых вод на расстояниях в 3–5 км и более от АЭС со скоростью 1,2–2,0 м в год. Вследствие этого даже при расположении АЭС на водораздельных пространствах с глубинами до зеркала грунтовых вод около 10–15 м их площадки могут быть отнесены к практически подтопляемым территориям. Эти обстоятельства должны учитываться в первую очередь при организации наблюдательной сети мониторинга геологической среды, а постоянно действующая модель (ПДМ) в системе мониторинга должна быть направлена на моделирование гидрогеологических условий территории.

Активная роль воды при изменении водного баланса территории АЭС проявляется и в изменении состояния, состава и свойств грунтов в основании сооружений АЭС. При их дополнительном водонасыщении возможны процессы снижения прочности, набухания глинистых грунтов, фильтрационных деформаций, просадки лессовых грунтов и т.д. В зависимости от конкретных инженерно-геологических условий территории АЭС интенсивность и специфика проявления этих изменений в грунтах оснований могут быть различными, что также должно учитываться в системе мониторинга геологической среды. Особое внимание должно предьявляться к слабым и структурно-неустойчивым грунтам (глинам, лессам, заторфованным грунтам и т.п.).

Третий важнейший фактор влияния на геологическую среду территорий АЭС — техногенное тепловое воздействие. Оно возникает вследствие конструктивных особенностей различных сооружений АЭС и систем охлаждения атомного реактора. В результате этого с изменением водного и теплового баланса верхней зоны пород происходит повышение активности теплопереноса и формируется контур геотермического теплового взаимодействия системы объектов АЭС с геологической средой. Большинство объектов АЭС характеризуется значительным тепловыделением в окружающую среду преимущественно в виде стока в местную гидрографическую сеть (сброс горячих вод). Повышение температуры инфильтрующихся техногенных вод по

сравнению с естественными подземными водами создает предпосылки для развития устойчивых процессов теплопереноса (тепловлагопереноса, теплопаропереноса, термоосмоса и т.д.), также меняющих состояние и свойства грунтов оснований АЭС. Таким образом, в наблюдательную сеть мониторинга геологической среды территорий АЭС должны обязательно включаться температурные наблюдения и контроль за процессами теплопереноса. Эти же факторы должны исследоваться и с помощью ПДМ.

Основную долю в энерговыделении АЭС в окружающую среду составляет сбросное тепло (до 70%). На современных АЭС вода используется в качестве главного теплоотводящего элемента в системе (сети производственно-технического водоснабжения, бассейны охладители, градирни и др.). В то же время утечки и инфильтрация нагретых техногенных вод (с температурой до 50°С) не исключаются и из-за конструктивных, а также строительных недоработок. В результате вокруг АЭС формируется устойчивое техногенное тепловое поле — температурная аномалия, протяженность которой в плане определяется теплофизическими свойствами пород и гидрогеологическими условиями территории. Некоторые данные о влиянии тепловых источников АЭС на нагрев грунтовых вод представлены в табл. 24.

Таблица 24

Нагрев грунтовых вод территории АЭС на различном расстоянии от источника (по Е.А. Яковлеву и др., 1988)

Параметр	Номера термометрических скважин							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Расстояние от источника нагрева, м	25	75	100	125	150	650	750	1000
Повышение температуры грунтовых вод, °С	11,0	3,5	2,2	1,5	1,2	1,0	0,7	0,5

Следует иметь в виду, что активному развитию процессов теплопереноса в районах АЭС способствуют следующие факторы: значительная заглубленность тепловыделяющих элементов энергетического комплекса в массивы горных пород; техногенное усиление инфильтрационного питания грунтовых вод, сопровождающееся подъемом их уровней и ростом скоростей фильтрации; повышенным водопотреблением АЭС по сравнению с другими объектами (в среднем около 2 м³/с против 1,1 м³/с на ТЭЦ при безвозвратных потерях 1 м³/с на каждые 1000 мВт).

Исследованиями Е.А. Яковлева, Б.В. Графского, Г.В. Лисиченко, Э.В. Собоновича и других было установлено, что наиболее высокие температуры грунтовых вод фиксируются в зоне охладительного бассейна АЭС и промплощадки. В зоне транзитного движения, как

правило, ограниченного в разрезах местным водоупором, наблюдается относительная равномерность прогрева грунтовых вод. Кроме того, часто наблюдается близость к плоскорадиальному распределению поля устойчивого повышения температуры грунтовых вод от внешнего контура промплощадки и до зоны естественного движения грунтового потока (область конвективного переноса тепла). Наряду с этим прослеживается тесная связь режима развития теплового поля с геофильтрационными параметрами подстилающих пород, проявляющаяся в сходном характере изменения градиентов уровней и температур.

Четвертый важнейший фактор техногенного влияния АЭС на геологическую среду связан с изменением геохимической обстановки. Как известно, современные атомно-энергетические комплексы представляют собой разветвленную цепь специфических промышленных объектов, среди которых выделяются: предприятия начального и среднего этапов (по добыче и переработке руд, обогащению урана, производству топлива); сами атомные электростанции; предприятия по переработке отработанного топлива; объекты временного хранения и окончательного захоронения радиоактивных отходов. Все эти объекты должны находиться в сфере действия мониторинга геологической среды.

В результате их деятельности образуются газообразные, жидкие и твердые радиоактивные и другие отходы, которые частично поступают в окружающую и геологическую среду. Они и вызывают различные изменения радиационной, гидрохимической и геохимической обстановки. В табл. 25 приведены основные загрязнители окружающей среды, получаемые на различных этапах ядерного топливного цикла, на которые в первую очередь должно обращать внимание при организации мониторинга геологической среды.

Как показывает опыт работы отечественных АЭС, их эксплуатационный режим создает незначительное радиохимическое воздействие на окружающую среду, не превышающее 2% от суммы космического и почвенного облучения. Сбросы радионуклидов в открытые водоемы невелики и составляют менее 37 гБк долгоживущих нуклидов в год на 1000 мВт установленной мощности. Наибольший вклад в эту активность вносят изотопы цезия-134 и -137, а также некоторые радионуклиды — продукты коррозии.

Однако наибольшую опасность представляют аварийные выбросы радионуклидов в окружающую среду, которые могут многократно перекрыть все фоновые нормы. Они, будучи вовлеченными в геохимический круговорот в биосфере, будут оказывать свое негативное воздействие на все живые организмы в период всего времени жизни (например, для стронция-90 и цезия-137 с периодами полураспада около 30 лет этого времени хватит на несколько поколений человека).

Таблица 25

Основные загрязнители окружающей среды предприятий атомно-энергетических комплексов (по Е.А. Яковлеву и др., 1988)

Источник отходов	Тип радиоактивности	Физическое состояние	Типичные изотопы
Добыча и переработка радиоактивных руд	Естественная	Твердое	Уран-238 Радий-226 Торий-230
		Жидкое Газообразное	Радий-226 Радон-222
Изготовление уранового топлива на заводах	То же	Твердое	Уран-235
		Жидкое Газообразное	Уран-235 Уран-238
Эксплуатация атомных реакторов	Продуктов активизации и деления	Твердое	Кобальт-58 Кобальт-60 Железо-59 Марганец-59
		Жидкое	Церий-144 Цезий-134 Цезий-137 Тритий Йод-131
		Газообразное	Стронций-90 Азот-16 Аргон-41 Сера-33 Сера-35 Йод-129 Ксенон-133 Ксенон-137 Углерод-14
Переработка топлива на заводах	Продуктов деления и трансурановых элементов	Твердое	Америций-241
		Жидкое	Стронций-90 Цезий-137 Плутоний Церий-144 Тритий
		Газообразное	Цирконий-99 Йод-131 Йод-129 Криптон-85 Тритий

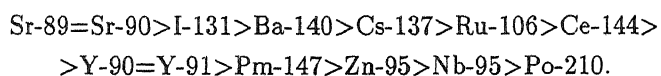
Таким образом, в случае попадания радиоактивных веществ в объекты геологической среды мониторинг должен помочь найти оптимальные способы локализации загрязнений и их ликвидации.

Исследование в системе мониторинга распространения радиоактивности во внешней среде в результате выбросов дает возможность

накапливать опыт натурального геохимического поведения радионуклидов, который, правда, дается ценой больших экологических, социальных и экономических потерь. В ходе изучения форм нахождения и миграции радионуклидов выяснились многие ранее неизвестные закономерности. В последнее время разработаны эффективные методы борьбы с “расползанием” радиоактивных загрязнений, причем в неблагоприятных по природным условиям районах. Однако многие закономерности геохимической миграции радионуклидов еще не выяснены и на исследование этих проблем должны быть направлены все системы мониторинга, существующие на объектах АЭС и атомной промышленности.

Разрабатывая в системе мониторинга геологической среды наблюдательную сеть, следует иметь в виду, что миграция радионуклидов в зоне гипергенеза осуществляется атмосферным, водным, биологическим и механическим (техногенным) путем. Сами элементы мигрируют в форме ионов, комплексных соединений, коллоидов, растворенных и свободных газов. На геохимических барьерах некоторые радиоактивные элементы теряют свою подвижность, как например, цезий в глинистых почвах и торфяниках. В зоне гипергенеза наиболее распространенным является карбонатный геохимический барьер, который контролирует концентрацию щелочно-земельных и многих других элементов. Он проявляется как в окислительной, так и в восстановительной обстановках. В системе мониторинга наличие природных геохимических барьеров должно учитываться в первую очередь.

Основное внимание следует уделять также радионуклидам, которые переносятся водой в ионной, молекулярной или комплексной форме. Именно эти формы усваиваются биотой, а значит, создают пути биологической миграции в организм человека — так называемые пищевые цепи (см. рис. 6). В случае попадания радионуклидов в воду они усваиваются аналогично стабильным элементам. При этом практическое значение имеют в первую очередь только долгоживущие радионуклиды, например, цезий-137, стронций-90, плутоний-239. По степени поступления в растения из почвы радионуклиды можно расположить в следующий ряд:



При этом поступление радионуклидов зависит также от типа почвы, определяющего ее поглотительную способность: наименьший переход радионуклидов отмечается из черноземных высокогумусных почв, наибольший — из торфяно-болотистых почв.

В случае рядовых аварий атомных реакторов (без расплавления активной зоны и выбросов ядерного горючего во внешнюю среду) происходит выделение радионуклидов в атомарном или молекулярном состоянии. Их форма нахождения в природных образованиях, в том числе подземных водах, та же самая, что и продуктов глобальных выпадений после ядерных испытаний в атмосфере.

В случае же выброса ядерного горючего (как, например, на Чернобыльской АЭС) картина оказывается чрезвычайно сложной и труднопрогнозируемой. При этом следует иметь в виду, что ядерное топливо, представляющее собой двуокись урана с “начинкой” продуктов деления и трансурановых элементов, рано или поздно начнет переходить в миграционноспособные формы. Долгоживущие радионуклиды могут включиться в геохимические циклы, а также попадать в пищевые цепи, не говоря уже о загрязнении атмосферы мелкодисперсными частицами размером от 50 Å и более. Трансурановые элементы, являясь излучателями альфа-частиц, чрезвычайно токсичны при респираторном поступлении в легкие человека. С пылью они попадают в поверхностные и подземные воды.

Интенсивная пространственно-временная изменчивость поля распределения техногенных радионуклидов обуславливает применение в системе мониторинга трендового анализа в качестве основного метода оценки и прогноза гидрогеохимической (эколого-геологической) обстановки.

Результаты наблюдений за миграцией радионуклидов должны обрабатываться в единой АИС мониторинга геологической среды регионального или национального уровня. В целом же гидрогеохимический мониторинг территорий АЭС должен базироваться на использовании основных методических положений геохимического картирования территорий, включающего принципы обоснования состава исследований, размеров сети опробования основных элементов геологической среды.

Среди других факторов, которые, однако, могут выйти на первостепенные позиции при оценке техногенного воздействия на геологическую среду территорий АЭС, следует также учитывать активизацию современных геодинамических процессов, а также сейсмичность территории. Оценка этих факторов при организации системы мониторинга геологической среды должна проводиться с учетом всего комплекса инженерно-геологических условий территории.

7.6. МОНИТОРИНГ ТЕРРИТОРИЙ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ И ЛИНЕЙНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Природно-технические линейные системы нефте- и газопроводов имеют свои специфические особенности, которые необходимо учитывать при организации мониторинга геологической среды территорий,

на которых располагаются нефте- и газопроводы. Основными из них являются:

1) значительная протяженность трасс газопроводов, проходящих через разные климатические и природные зоны с разнообразными инженерно-геологическими условиями;

2) тенденции увеличения технологических нагрузок на трубопроводы, связанные с возрастанием объемов перекачиваемых продуктов;

3) чрезвычайно серьезные экологические последствия для окружающей среды, возникающие в случае аварий трубопроводов, особенно нефтепроводов, из чего следует необходимость обеспечения достаточно высокой надежности работы этих сооружений;

4) увязка различных сооружений газо- и нефтепроводов с инженерными комплексами осваиваемых месторождений.

Как правило, крупнейшие нефте- и газопроводы (конденсатопроводы) должны включаться в систему мониторинга вместе со всей инженерной структурой освоения месторождения. Например, освоение крупнейших газовых месторождений на территории Западной Сибири и на северо-востоке европейской части России в настоящее время ведется путем сооружения отдельных газовых промыслов, состоящих из установок комплексной подготовки газа и дожимных компрессорных станций. Промыслы размещаются по осевой линии месторождения в пределах коридора основных коммуникаций, где сооружаются по две-три нитки газопровода-коллектора диаметром труб 1200–1400 мм, а также 1–2 нитки водоводов, ЛЭП и автомобильная дорога с покрытием бетонными плитами. Большинство газопроводов-коллекторов и магистральных газопроводов прокладывается подземным способом или полуподземным (полузаглубленным) с обваловкой, реже наземным в насыпи. Таким образом, при освоении крупных нефтяных и газовых месторождений в связи с необходимостью добычи, очистки и транспортировки полезного ископаемого создается сложно построенная региональная природно-техническая система, захватывающая огромную территорию, отличающаяся большой протяженностью, а в условиях России к тому же часто расположенная, или частично проходящая, в криолитозоне.

Вполне естественно, что при создании и эксплуатации таких систем в связи с нарушением природных условий, изменением теплового и водного режима грунтов происходит активизация различных экзогенных и интенсивное проявление инженерно-геологических процессов. Опыт борьбы с многочисленными деформациями различных сооружений вдоль трасс нефте- и газопроводов показал, что эксплуатационная надежность газо- или нефтедобывающих комплексов и трубопроводов в сложных инженерно-геологических условиях не может быть обеспечена проведением отдельных ремонтных работ и мероприятий по инженерной защите данной ПТС. Для оценки состояния ПТС

требуется создание системы мониторинга геологической среды, поскольку она не только обеспечивает слежение за состоянием ПТС, но и позволяет с заданной периодичностью выполнять прогнозы изменения состояния инженерно-геологической обстановки и оперативно принимать решения и рекомендации по управлению ПТС.

Поскольку пространственно-временная структура мониторинга геологической среды определяется целью управления, режимом эксплуатации, а также инженерно-геологическими условиями, обуславливающими характер и интенсивность взаимодействия между различными типами сооружений и геологической средой, то при создании мониторинга территорий трасс трубопроводов необходимо прежде всего оценить инженерно-геологические условия территории и проанализировать техногенную нагрузку вдоль трассы. На основе сопоставления карт этих двух типов и другой информации составляется прогноз взаимодействия геологической среды и инженерных сооружений вдоль всей трассы и в соответствии с этим разбивается наблюдательная сеть мониторинга. Рассмотренная выше общая методика организации системы мониторинга остается в силе и для территорий газо- и нефтепроводов.

Исходными материалами для составления прогнозов изменения инженерно-геологических условий служат следующие данные: опережающие инженерно-геологические съемки среднего масштаба; детальные данные предпроектных изысканий; результаты режимных наблюдений за изменением тех или иных компонентов геологической среды при их взаимодействии с инженерными сооружениями; повторные обследования промплощадок и трасс трубопроводов и повторных площадных съемок; многозональные космические и аэрофотосъемки предпроектной ситуации и последующих залетов, а также тепловая съемка.

Прогноз изменения инженерно-геологических условий по трассам газо- и нефтепроводов согласно В.Л. Невечери и В.В. Пендину (1991) может осуществляться в три этапа: 1) региональный прогноз изменений инженерно-геологических условий на основе анализа структуры полей геологических параметров, характеризующих состояние геологической среды до и после освоения территории; 2) прогнозное инженерно-геологическое районирование территории по характеру взаимодействия различных типов сооружений с геологической средой; 3) локальный количественный прогноз геологических параметров, определяющих устойчивость ПТС. Общая структура мониторинга геологической среды вдоль трассы трубопровода включает в себя подсистемы регионального, локального и детального уровней.

В систему мониторинга трассы трубопровода детального уровня входят периодические обследования состояния трубопровода, анализ развития различных инженерно-геологических процессов вдоль

трассы, осуществление фотодокументирования и т.п. Обследования должны повторяться один раз в 1–2 года, что позволяет получить картину изменения состояния ПТС в процессе ее эксплуатации. Состояние подземных газопроводов по сравнению с проектным может оцениваться по такому показателю, как например, “стабильность” (S), предложенному в 1988 г. В.В. Пендиным с сотрудниками. Показатель стабильности варьирует в пределах от 1 до 0, причем значение $S = 1$ соответствует полному отсутствию деформаций сооружения, превышающих предусмотренные проектом, а при $S = 0$ сооружение выходит из строя в результате развития инженерно-геологических процессов. Классификация состояния газопроводов по “стабильности” приведена в табл. 26.

Таблица 26

Классификация состояния подземных газопроводов по стабильности (S) (по В.В. Пендину и др., 1988)

S	Состояние газопровода	Возможные дефекты
1	Газопровод полностью соответствует проекту	—
0,7	Газопровод обнажен частично	Разрушение гидроизоляции, активизация коррозии, потенциальная возможность разрушения соседних ниток при аварии одной из них
0,5	Газопровод обнажен полностью	То же, что в п.2; газопровод не заземлен, подвижен, создаются условия для развития скрытых дефектов трубы
0,3	Газопровод обнажен полностью, наличие арок, змеек	То же, что в п.3; возможна работа трубы при напряжениях выше допустимых
0,1	Газопровод обнажен, арки, змейки с гофрами	То же, что в п.4; возможно течение материала трубы
0	Разрыв трубы газопровода	

На участках наиболее интенсивного развития деформаций трубопроводов и инженерно-геологических процессов организуются режимные площадки. На них разбивается профиль и для криолитозоны оборудуются 5–7 термометрических скважин, пучиномерная установка, на трубе устанавливаются деформационные геодезические марки и тензодатчики. Наблюдения за температурой ведутся один раз в месяц, за деформациями — два раза в год (весной и осенью).

В последнее время для автоматизации сбора и обработки данных, полученных на основе режимных сетей мониторинга, на ряде объектов газовых и нефтяных промыслов России начато внедрение системы "Dataqua" (Венгрия), в комплект которой входят датчики, одновременно регистрирующие до 8 параметров, устройства считывания и перезаписи данных, устройства сбора и записи данных, совместимые с компьютером IBM-PC, позволяющие на их основе организовывать эффективную работу АИС в системе мониторинга. Внедрение таких систем позволяет вести мониторинг геологической среды практически в автоматическом режиме, что особенно важно для удаленных северных районов России.

Свои специфические особенности у мониторинга геологической среды и на территориях, по которым проходят различные линейные транспортные геотехнические системы. Среди них первостепенное значение имеют железные дороги и автомобильные трассы. Главными особенностями этих ПТС, которые необходимо учитывать при организации мониторинга геологической среды, являются:

- 1) большая протяженность транспортных линейных магистралей и вследствие этого — большое разнообразие вдоль трасс инженерно-геологических условий;
- 2) возрастающая год от года нагрузка на транспортные магистрали, обусловленная общей тенденцией увеличения грузоперевозок, внедрением перевозок сдвоенными тяжеловесными составами и т.п.;
- 3) усиливающиеся тенденции активизации техногенных изменений геологической среды вдоль транспортных магистралей.

Иногда ошибочно думают, что воздействия транспорта на геологическую среду локальны, не учитывая, что сеть железных и автомобильных дорог разного класса, воздушных трасс, судоходных рек, ЛЭП охватывает все регионы страны. Продукты неполного сгорания транспорта попадают прежде всего в атмосферу и разносятся ветром, но они накапливаются в течение времени во всех компонентах окружающей, и в том числе геологической среды. Наибольшему загрязнению, естественно, подвергаются придорожные зоны. Исследования показывают, что в полосе магистральных автомобильных дорог первого класса шириной 30–50 м в почвах, грунтовых водах и растительности накапливаются нефтепродукты, свинец, цинк и другие тяжелые металлы в концентрациях, значительно превышающих ПДК. Таким образом, одна такая трасса длиной 100 км загрязняет геологическую среду сверх ПДК на площади 500 га. В районах аэродромов образуются устойчивые зоны загрязнения почв и грунтовых вод керосином и некоторыми тяжелыми металлами, при этом очаги загрязнения выходят за территорию взлетно-посадочных полос.

На инженерно-геологические условия территории воздействует как строительство, так и эксплуатация транспортных систем. Они способны активизировать природные или вызвать к жизни техногенные

экзогенные геологические процессы — оползни, обвалы, пльвуны, суффозию, карст, эрозию, заболачивание и т.д. Вибрационное воздействие от тяжело груженных автомашин и поездов интенсифицирует оползни, обвалы, осыпи, лавины и другие гравитационные явления.

В настоящее время ни одна автомобильная или железная дорога страны не имеет не только собственных сил для обеспечения надежности инженерной защиты эксплуатирующихся сооружений, но и достаточно обоснованной картины современного состояния транспортных геотехнических систем с точки зрения наличия опасных участков, не говоря уже о прогнозных данных по изменению геологической среды. В связи с этим организация систем мониторинга по основным трассам автомобильных и железных дорог является важнейшей государственной задачей.

Коренным вопросом при этом является организация систем наблюдений и контроля за состоянием дорог, имеющих огромную протяженность. В условиях России протяженность железных дорог, например, меняется от нескольких сотен до нескольких тысяч километров. Поэтому оценка подверженности всей зоны пролегания той или иной трассы неблагоприятным инженерно-геологическим и геологическим процессам наиболее эффективно осуществляется всевозможными дистанционными, в том числе аэрокосмическими методами. Среди них нужно прежде всего отметить многозональную и тепловую инфракрасную съемку. В сочетании со ставшими уже традиционными методами аэрофотосъемки и наземных экспресс-инженерно-геологических изысканий они представляют собой мощный современный комплекс методов обеспечения оперативного контроля за состоянием транспортных геотехнических систем.

На всех трассах автомобильных и железных дорог существует геотехнический контроль, призванный обеспечивать надежное, безаварийное функционирование трасс, сохранность и обслуживание системы инженерной защиты магистралей. Геотехнический контроль призван обеспечивать и режимные наблюдения по трассам. При организации мониторинга геологической среды, согласно А.Л. Ревзону, Е.А. Толстых и другим, существующая система геотехнического контроля должна входить составной частью в систему мониторинга.

На железных дорогах России геотехнический контроль осуществляется в соответствии со сложившейся организационной структурой управления, которая включает в себя следующие подразделения: управление дороги, отделение дороги, дистанция пути, околоток. В состав отделения дороги включаются обычно две-три дистанции пути, а в составе дистанции — ряд околотков. Каждый околоток охватывает 20–25 км трассы железной дороги. Поэтому уровневая система мониторинга геологической среды железнодорожных трасс должна строиться с учетом этой структуры.

Так, по А.Л. Ревзону (1992), мониторинг детального уровня должен охватывать каждый околоток железной дороги. Для каждого околотка инженерно-геологические исследования и наблюдения в системе мониторинга ведутся в целях выявления состояний элементов геотехнической транспортной системы, представляющих опасность для ее функционирования, в целях прогноза времени, места и масштаба возможных критических ситуаций, а также назначения конкретных мероприятий по предотвращению аварий, т.е. управления состоянием ПТС на детальном уровне. Здесь основными видами работ и наблюдений в системе мониторинга являются детальные наземные топогеодезические и инженерно-геологические работы, а также тепловая аэросъемка и фототеодолитная съемка, в результате которых строятся картографические модели прогноза конкретных критических ситуаций масштаба 1:500 и 1:2000. Пример составления карты оценки опасности состояния железной дороги показан на рис. 43.

Мониторинг геологической среды дистанции пути соответствует локальному уровню, основной задачей которого является оценка состояния инженерной защиты дистанции с разработкой рекомендаций по комплексу защитных мероприятий и укрупненным определением их стоимости. На этом уровне проводится оценка динамики развития различных неблагоприятных геологических и инженерно-геологических процессов за периоды строительства и эксплуатации дороги, разрабатываются управляющие решения и рекомендации по функционированию системы защитных мероприятий. Исследования и наблюдения ведутся с помощью аэрофотосъемки, с анализом материалов обычных аэрофотосъемок залетов разных лет, а также с помощью наземных инженерно-геологических обследований. Карта прогноза состояния геологической среды вдоль дистанции пути по степени устойчивости ее элементов к техногенным воздействиям строится в масштабе 1:10000 или 1:25000.

Мониторинг геологической среды железнодорожной трассы отделения дороги соответствует региональному уровню. Он объединяет в себе локальные информационные сети детального и локального уровней в пределах всего отделения дороги. На этом уровне мониторинга обосновывается финансирование системы защитных мероприятий по предотвращению аварийных ситуаций, составляется кадастр проявлений геологических и инженерно-геологических процессов, оценка их активности и возможного воздействия на инженерные сооружения. Обобщение всех данных по отделению проводится в АИС. Помимо информации, получаемой по локальным сетям, на этом уровне новые данные наблюдений получают с помощью космической многозональной фотосъемки, наземных инженерно-геологических обследований и аэровизуальных работ. Картографические модели на уровне отделения строятся в масштабе 1:100 000 или 1:200 000.

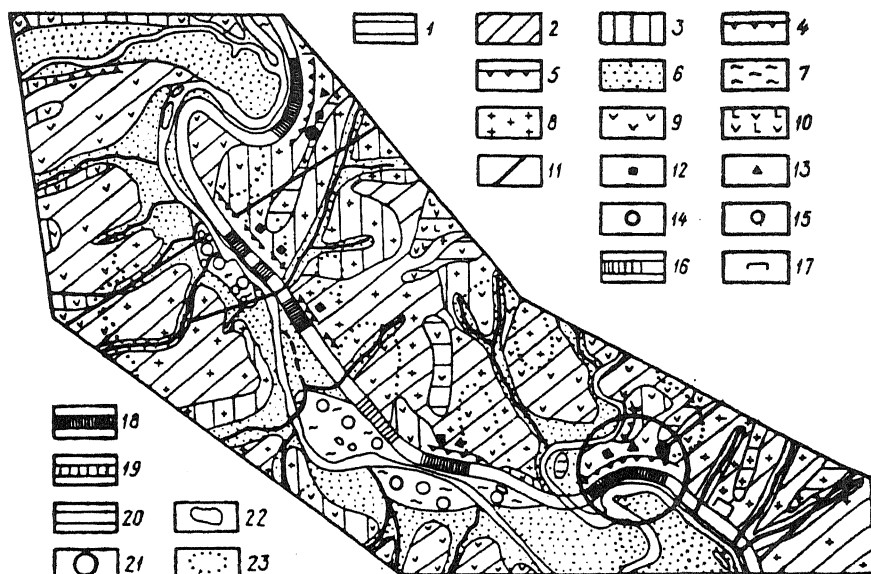


Рис. 43. Фрагмент карты (одна из дистанций БАМ) оценки опасности состояния железнодорожной ГТС в условиях техногенной интенсификации геологических процессов. Составлена А.Л. Ревзоном и Е.А. Толстых (1992).

Инженерно-геологическая ситуация: характеристика типов поверхностей: 1 — залесенные пологонаклонные (до 20°) вершинные поверхности междуречий с пятнами курумов и полным разрезом коры выветривания; 2 — залесенные склоны средней крутизны ($20-30^\circ$) со спорадическим развитием курумов, с деградированной дисперсной зоной коры выветривания; 3 — крутые ($30-40^\circ$) залесенные склоны с площадным и линейным распространением курумов в виде сплошного чехла обломков с отсутствием дисперсной зоны коры выветривания; 4 — техногенные обнаженные обрывы прижимов рек (крутизной более 40°) с преобладанием глыбовой зоны коры выветривания; 5 — то же естественные обрывы; 6 — пологие заболоченные поверхности долин рек, выработанные в непросадочных грунтах; 7 — то же с мерзлотной переработкой, выработанные в просадочных грунтах.

Горные породы и их раздробленность: 8 — граниты и гранодиориты верхней юры и нижнего мела; 9 — кристаллические сланцы нижнего протерозоя; 10 — кристаллические сланцы и гнейсы архея; 11 — осевые линии локальных разломов взбросо-сдвигового типа, создающих внутриблоковое дробление, обводненных за счет подтока трещинно-жильных вод (глубинные дрены). Современные геологические процессы: 12 — обвалы; 13 — осыпи; 14 — оползни; 15 — термокарст.

Инженерные сооружения: 16 — железнодорожный путь; 17 — карьеры.

Районирование ГТС по степени опасности ее состояния: 18 — опасное (высота обрывов более 15 м, скорость выветривания $0,6-0,83 \text{ м}^3/\text{м}$ в год, среднегодовая частота камнепадов более 10 1/км в год, термокарстовые озера глубиной более 0,5 м); 19 — относительно опасные (соответственно 10-15 м, $0,005-0,5 \text{ м}^3/\text{м}$ в год, 1-10 1/км в год, термокарстовые озера глубиной более 0,5 м); 20 — безопасные (соответственно менее 10 м, менее $0,005 \text{ м}^3/\text{м}$ в год, камнепадов нет, термокарстовых озер глубиной более 0,5 м нет); 21 — границы обследуемого участка; 22 — границы типов поверхностей; 23 — границы комплексов горных пород

И, наконец, мониторинг геологической среды вдоль железнодорожной трассы всего управления дороги относится к национальному уровню, объединяя в себе региональные системы мониторинга отделений. Его назначением является управление всей системой мониторинга данной дороги, обоснование нормативных документов для организации и финансирования службы мониторинга, выделение участков железных дорог по характеру и степени опасности неблагоприятных геологических процессов и их прогноз. Помимо обработки и обобщения в АИС поступающей информации из систем мониторинга низших уровней, на этом уровне информация также получается с помощью космической многозональной фотосъемки. Картографические модели для всего управления дороги строятся в масштабе 1:1 000 000 или 1:250 000.

Таким образом, организация мониторинга геологической среды вдоль трасс трубопроводов и линейных транспортных сооружений является актуальной задачей, реализация которой позволит добиться повышения надежности работы этих инженерных сооружений, их долговечности, исключения возможных негативных явлений, связанных с загрязнением геологической среды, и неблагоприятных экологических последствий.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ГЛ. 7

1. В чем состоят специфические черты воздействия горнодобывающей промышленности на геологическую среду?
2. Какие особенности должны учитываться при организации мониторинга в районах нефтяных и газовых месторождений?
3. С чем связаны наибольшие изменения компонентов геологической среды в районах крупных гидроузлов?
4. Перечислите основные факторы, которые необходимо учитывать при организации мониторинга геологической среды в районах гидротехнических сооружений.
5. В чем заключаются основные тенденции развития современного города, которые необходимо учитывать при организации мониторинга геологической среды?
6. Каковы основные источники поверхностного химического загрязнения в городах?
7. Перечислите основные виды антропогенного воздействия на геологическую среду в пределах городских агломераций.
8. Каковы основные задачи мониторинга почв?
9. Какие главные факторы должны учитываться при организации мониторинга геологической среды сельскохозяйственных территорий и районов мелиоративного освоения?

10. Назовите ведущие факторы техногенного воздействия на геологическую среду в районах АЭС, которые должны учитываться при организации мониторинга.

11. В какой форме в основном происходит миграция радионуклидов в геологической среде?

12. Какие типы ПДМ целесообразно создавать в рамках мониторинга геологической среды районов АЭС?

13. В чем состоят особенности организации мониторинга геологической среды вдоль линейных транспортных сооружений и трубопроводов?

Глава 8

ЦЕЛЕВАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ПРОГРАММА МОНИТОРИНГА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ТЕРРИТОРИИ

8.1. ЦЕЛЬ И НАЗНАЧЕНИЕ ПРОГРАММЫ

Целевая комплексная программа мониторинга геологической среды — это основной методологический и методический документ, на базе которого проводится практическая организация мониторинга геологической среды данной территории. Ее составление проводится на стадии планирования мониторинга геологической среды, но в ряде случаев это целесообразно делать до планирования ПТС и главного строительства.

Согласно В.К. Епишину и В.Т. Трофимову (1985), по форме целевая программа мониторинга геологической среды аналогична комплексным схемам рационального использования, контроля и охраны геологической среды или территориальным комплексным схемам (ТКС) рационального использования и охраны окружающей среды, которые входят составными частями в схемы рационального природопользования России.

В научной концепции целевой комплексной программы мониторинга геологической среды, как и в концепции ТКС, реализуются следующие основные принципы: системность, комплексность и программно-целевой подход.

Системность разработки программы определяет одновременный, всесторонний подход к анализу геологической среды и функционирования ПТС с учетом экологических, социальных и экономических интересов. Системность природных (в том числе геологических) объектов требует рассмотрения каждой проблемы как части более общей, каждого единичного фактора — во взаимосвязи с другими факторами, так или иначе модифицирующими его действие (Красилов, 1992). В этом смысле программа мониторинга геологической среды территории должна строиться с учетом общечеловеческих экологических принципов устойчивого развития, стратегия которого включает в себя:

приоритетность качественных показателей (качества жизни) перед количественными (численностью, потреблением и т.п.);

противостояние энтропийным процессам (милитаризации экономики, росту отходов, тиражированию культурных ценностей, ритуализации духовной жизни общества и т.п.);

сохранение биологического и культурного разнообразия;

согласование программы природопользования с эволюционной периодичностью природных процессов;

предпочтение устойчивости (к изменению условий, непредвиденным осложнениям) извлечению максимальной прибыли при выборе программы развития.

В комплексность разработки целевой программы мониторинга входит осуществление одновременного учета техногенных изменений геологической среды и ущерба, наносимого измененным геологическим компонентом различным техногенным, экологическим объектам и населению. Комплексность разработки программы должна пониматься и как рациональное сочетание ведомственных и общечеловеческих интересов. Декларативное признание важности различных экологических проблем, к сожалению, пока не всегда сопровождается адекватными практическими действиями. Природоохранные расходы неизменно оказываются одной из последних строк государственных бюджетов, между тем обеспечение экологической безопасности — благоприятного для человека состояния факторов среды — должно быть признано приоритетом общественного развития. Принцип приоритета экологической безопасности в практическом плане означает, что комплексные социальные и экономические программы должны основываться на экологическом каркасе территории в виде схемы охраны природы и ландшафтного планирования, важнейшую составную часть которой составляет мониторинг геологической среды.

Программно-целевой подход предполагает конкретное четкое определение основных целей мониторинга геологической среды, выделение промежуточных и конечных результатов и в итоге — разработку комплекса рекомендаций и управляющих решений, направленных на рациональное использование, охрану геологической среды и управление ПТС. Конечным результатом разработки целевой программы является выбор наиболее эффективного пути реализации мониторинга геологической среды на конкретной территории.

Целевая комплексная программа мониторинга геологической среды территории должна содержать ряд важнейших научно-методических **обоснований**, главными из которых являются:

- 1) обоснование площади изучения, которая как минимум должна включать всю зону ожидаемого техногенного воздействия на все компоненты геологической среды территории;

2) обоснование и выбор системы мониторинга, в основе которой лежит анализ и выявление тех компонентов геологической среды, на которые оказывается или ожидается техногенное воздействие и обеспечение прогнозирования изменений геологической среды. Здесь необходим сопряженный учет компонентов геологической среды и вида (характера) источника техногенного воздействия;

3) обоснование расположения наблюдательной сети мониторинга. Здесь определяющей должна быть карта типологического инженерно-геологического районирования территории, включающая оценку защищенности или чувствительности геологической среды к техногенному загрязнению и развитию экзогенных геологических процессов. В оптимальном варианте все типологические таксоны районирования подлежат оценке и изучению с учетом распространения на территории техногенного влияния;

4) обоснование периода наблюдений в системе мониторинга. Он определяется временем строительства, эксплуатации, а в ряде случаев и временем консервации или рекультивации объектов, режимом функционирования ПТС;

5) обоснование режима наблюдений за каждым компонентом геологической среды или соответствующим экзогенным геологическим процессом. Здесь следует использовать в полной мере имеющиеся ведомственные методические разработки, в том числе и по проведению режимных наблюдений.

Таким образом, назначение целевой комплексной программы мониторинга геологической среды — обоснованно наметить оптимальный состав и последовательность практических действий по организации и функционированию мониторинга геологической среды на какой-либо конкретной территории. Разработка целевых программ региональных и локальных систем мониторинга геологической среды в первую очередь для ряда важнейших в хозяйственном отношении ПТС, а также целевой программы национальной системы мониторинга России — одна из основных задач современной экологической геологии в целом и инженерной геологии в частности. Существующая в настоящее время и продолжающая стихийно развиваться сеть режимных наблюдений, а также отраслевая сеть мониторинга без такой целевой программы, без блока управления не может полностью обеспечить решение проблемы рационального использования и охраны геологической среды с учетом экологических требований. Разрабатываемые комплексные схемы (локальные, региональные, генеральные) в качестве обязательного элемента должны включать целевую программу мониторинга геологической среды. В то же время последняя может разрабатываться вне и независимо от ТКС.

8.2. СТРУКТУРА ПРОГРАММЫ

Все целевые программы организации мониторинга геологической среды территорий должны строиться по единой структуре, отражающей их типовой характер. Единая структура целевых программ, согласно В.К. Епишину, М.А. Шубину, В.Н. Экзарьяну, обеспечивает единство методических подходов при организации мониторинга разных уровней и разных территорий и тем самым обеспечивается более эффективная возможность создания единой системы национального мониторинга России.

Один из возможных вариантов структуры типовой “Целевой комплексной программы мониторинга геологической среды территории” представлен в приложении 1.

Целевая программа состоит из четырех основных разделов, характеристика которых дается ниже.

Во “Введении” к целевой программе дается краткая общая характеристика эколого-геологической ситуации рассматриваемой территории, приводится обоснование необходимости организации мониторинга геологической среды данной территории, указывается цель и назначение данной программы (обоснование которых дается в первом разделе).

Первый “Тематический и ситуационный раздел” программы посвящен характеристике тех компонентов геологической среды и техносферы, которые требуют контроля и управления. Согласно В.К. Епишину и В.Т. Трофимову, ситуационный анализ состояния ПТС должен не только дать оценку гомеостатических, т.е. допустимых, “критических” пределов изменений геологической среды в границах ПТС по различным компонентам и параметрам, но и оценить современное состояние среды, т.е. ее фактическое положение “внутри” гомеостатического диапазона состояний. Кроме того, в ситуационном анализе должно быть взаимосвязанно учтено и оптимальное состояние (оптимальный режим работы) технической подсистемы.

Здесь дается характеристика геологической среды района мониторинга на базе изучения различного картографического и фактического материала, включая карту инженерно-геологического типологического районирования территории. Приводится характеристика техногенной нагрузки на различные компоненты геологической среды на базе изучения карт хозяйственного освоения территории, карт техногенного влияния, измененности или чувствительности геологической среды к техногенному воздействию. На основе сопоставления характеристик геологической среды и техносферы проводится анализ сложившейся на данной территории ситуации и ее оценка с выделением и обоснованием перечня тех компонентов геологической среды и техносферы, которые требуют контроля и управления в системе мониторинга.

Завершается первый раздел формулированием цели организации мониторинга на данной территории (указанной во введении) и четким изложением задач, направленных на ее достижение. Целевая часть раздела является важнейшей в программе, так как на базе основной цели управления ПТС — достижение оптимального состояния функционирующей ПТС в гомеостатических пределах изменений геологической среды — в нем должна быть сформирована полная иерархическая система целей ПТС, зачастую противоречивых, достижение которых по заданным критериям и призвана обеспечить система мониторинга геологической среды.

Второй раздел целевой программы — **методический**. Он является одним из основных, поскольку его назначение — раскрыть методику исследований мониторинга, охарактеризовать систему наблюдений и весь комплекс применяемых методов. В этом разделе должны быть последовательно даны ответы на вопросы: что наблюдать, что измерять, где измерять, как измерять и чем измерять? Здесь приводится характеристика и дается обоснование наблюдательной сети в системе мониторинга, разбивка сети СППИНФов по тем или иным компонентам геологической среды и техносферы, их пространственная (с помощью карты-схемы организации мониторинга) и временная характеристики. Кроме того, в этом разделе приводится весь перечень конкретных методов наблюдений, сбора и обработки получаемой информации, включая необходимые в системе мониторинга методы полевых и лабораторных инженерно-геологических, гидрогеологических, геокриологических и геофизических исследований, дистанционные методы наблюдений, математическое обеспечение, включая общую характеристику постоянно-действующей модели (ПДМ) в системе мониторинга. Здесь же приводится и другое вспомогательное техническое обеспечение, включая автотранспорт, необходимое для организации и функционирования наблюдательной сети мониторинга.

В третьем разделе дается характеристика тех вопросов, которые на начальной стадии планирования и организации системы мониторинга еще могут быть не совсем ясны. Здесь разбираются не до конца решенные научно-методические проблемы мониторинга, оговариваются научные проблемы, которые могут возникнуть при организации мониторинга, перечисляется круг вопросов, которые требуют повышенного внимания из-за их недостаточной разработанности. Указываются и возможные технологические и технические проблемы, с которыми придется столкнуться при организации мониторинга (например, проблема сохраняемости на местности автоматизированных датчиков и измерительных приборов и т.д.). Намечаются возможные пути решения указанных проблем.

Четвертый раздел программы посвящен плану организационных работ по практическому созданию мониторинга и его функционированию. В этом разделе должна даваться последовательная характеристика трех основных этапов организации мониторинга: начального или подготовительного, второго, или этапа создания информационной базы, и третьего — этапа функционирования системы мониторинга. Каждый этап должен содержать четкое изложение задач этапа и развернутую характеристику его содержания (виды работ, их объемы, сроки их проведения, т.е. график работ и т.д.). При описании порядка создания информационной базы дается и характеристика финансирования работ по этапам, ориентировочных затрат на организацию и функционирование системы мониторинга, а также указываются организационные структуры, которые будут реализовывать мониторинг и использовать его результаты (включая федеральные или местные органы управления и администрации в зависимости от ранга системы мониторинга). Здесь же указываются те организации-подрядчики, на базе которых целесообразно создавать систему мониторинга, с указанием их ведомственной принадлежности, а также перечисляются инженерно-геологические, гидрогеологические, природоохранные и другие организации, расположенные на данной территории и имеющие свои сети режимных наблюдений за различными объектами.

Завершается раздел характеристикой функционирующей системы мониторинга в целом с описанием порядка (правил) оценки и прогноза ситуации, принятия рекомендаций и управляющих решений, особенностей их реализации. Согласно В.К. Епишину и В.Т. Трофимову (1985), здесь должны быть рассмотрены два возможных случая, по-разному отображаемых в целевой комплексной программе. В первом случае работа существующего комплекса инженерных сооружений не выводит состояние геологической среды за ее гомеостатические границы и система мониторинга осуществляет лишь контроль и управление ПТС без организации системы инженерной защиты территории. Во втором случае, когда ПТС выходит за гомеостатические пределы, возникает необходимость возведения сооружений инженерной защиты и контроля работы этих сооружений (наряду с контролем состояния геологической среды). Это требует уточнения ранее составленной целевой части программы.

В заключение целевой комплексной программы указываются общие выводы и приводятся общие рекомендации по организации мониторинга геологической среды данной территории. Кроме того, указываются механизмы информационной связи данной системы мониторинга с системами мониторинга более высокого ранга и пути реализации этой связи.

Программа снабжается списком использованной литературы, как фондовой, так и опубликованной, а также графическими приложениями в виде различных картографических моделей. Среди них главной и обязательной является “Карта-схема организации мониторинга геологической среды территории”, на которой отражаются все элементы геологической среды и техносферы, подлежащие мониторингу, а также разбивка наблюдательной сети (СППИНФ) на территории. Методика составления карты-схемы организации мониторинга геологической среды территории рассмотрена в разд. 4.5.

8.3. ЭТАПЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ

Этапы реализации программы мониторинга геологической среды традиционны для инженерно-геологических исследований и разработки территориальных комплексных схем охраны и рационального использования геологической среды.

Начальный, или подготовительный, этап включает в себя мероприятия, подготавливающие и создающие условия для разработки и обоснования методики наблюдений в системе мониторинга. На этом этапе в виды и объемы работ входят:

- 1) изучение фондовых и опубликованных материалов по данной территории;
- 2) сбор и систематизация имеющейся информации о строении и состоянии геологической среды;
- 3) сбор имеющейся информации о техногенной нагрузке на геологическую среду;
- 4) составление карт изученности территории.

Второй этап — этап создания информационной базы данных об эколого-геологических условиях территории мониторинга геологической среды. Задачами этого этапа являются: обоснование и разбивка сети СППИНФов; выбор и оборудование эталонных (ключевых) участков, наблюдательных площадок, профилей и т.д.; создание банка данных, АИС, локальных и коммуникационных сетей; создание условий для непрерывного информационного обеспечения. Основными видами работ на данном этапе являются:

- 1) наземные прямые наблюдения за элементами геологической среды и ПТС;
- 2) наземные дистанционные наблюдения;
- 3) специальное дешифрирование (эколого-геологическое) АФС и применение различных дистанционных методов наблюдений;
- 4) проведение режимных наблюдений (наземными и дистанционными методами);
- 5) повторная эколого-геологическая съемка;

- 6) составление карт инженерно-геологического районирования, карт типизации техногенных воздействий, карт эколого-геологического состояния геологической среды, карты-схемы организации мониторинга;
- 7) техническая реализация АИС;
- 8) продолжение сбора сторонней информации.

Третий этап — этап функционирования созданной системы мониторинга геологической среды. Его задачами являются собственно цели самого мониторинга — фиксация изменений в геологической среде и ПТС, оценка ситуации, ее анализ, моделирование, прогноз и разработка рекомендаций по управлению. Основными видами работ на этом этапе являются:

- 1) непрерывная обработка и анализ поступающей информации;
- 2) представление результатов в виде различных эколого-геологических “дежурных карт”, регулярных аналитических отчетов, аналитических записок, заключений о состоянии геологической среды и т.д.;
- 3) моделирование различных ситуаций;
- 4) ситуационное прогнозирование (через какое время возникнет та или иная ситуация);
- 5) разработка рекомендаций по управлению ПТС и элементами геологической среды;
- 6) проведение профилактических работ на действующей наблюдательной сети (ремонт оборудования, наладка, замена питающих элементов, заправка и т.д.).

Таким образом, реализация целевой комплексной программы мониторинга геологической среды, проводимая в три этапа, позволяет создать планируемую систему мониторинга. В дальнейшем действующая система мониторинга также должна совершенствоваться, уточняться, приближаясь к саморегулирующейся системе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ГЛ. 8

1. Для чего составляется целевая комплексная программа мониторинга геологической среды территории?
2. Почему целевые программы должны создаваться по единому типовому образцу?
3. Каковы основные разделы целевой комплексной программы?
4. Каково целевое назначение каждого раздела программы?
5. В какие этапы проводятся организационные работы по созданию системы мониторинга?
6. Кто является заказчиком и потенциальным “потребителем” результатов мониторинга геологической среды территории?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

“Природа, мир, тайник Вселенной,
Я службу долгую твою,
Объятый дрожью сокровенной,
В слезах от счастья отстою!”

Б. Пастернак

Изучив основные теоретические закономерности, методы и особенности организации мониторинга геологической среды, можно более отчетливо представить себе содержание настоящего курса. Решение глобальных задач, стоящих перед человечеством в области охраны и рационального использования окружающей среды, невозможно без создания глобальной системы мониторинга Земли. Важнейшим звеном в этой системе является мониторинг геологической среды как один из методов инженерно-геологических, гидрогеологических, геохимических, геофизических и геокриологических исследований и выработки рекомендаций по рациональному использованию геологической среды с учетом решения эколого-геологических проблем.

Предлагаемый учебник в значительной мере основан на важнейших учебных курсах вузов: охрана и рациональное использование окружающей и геологической среды, геоэкология, инженерная геодинамика, инженерно-геологическое картирование, региональная инженерная геология, гидрогеология, геохимия и геокриология. Курс базируется на ведущих дисциплинах в области инженерной геологии, гидрогеологии и геокриологии, в связи с чем в какой-то мере завершает подготовку специалистов по этим специальностям, подготовку исследователей и работников эколого-геологического направления. Этот курс является частью экологической геологии — нового научного направления в геологии, изучающего верхние горизонты литосферы как абиотическую компоненту экосистем разного уровня организации.

Освоение данного курса студентами должно подкрепляться практическими работами по составлению конкретных целевых программ мониторинга геологической среды различных регионов России и сопредельных стран. Именно такая практика сложилась на геологическом факультете МГУ. Составляя программу, студенты овладевают практическими навыками обоснования системы мониторинга конкретного района, подкрепляя ее картой-схемой организации мониторинга геологической среды территории.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

К главе 1

1. Арну М. Теоретические основы взаимодействия человека и геологической среды // Докл. 27-го Межд. геол. конгресса. Инж. геология. С.17. Т. 17. М.: Наука, 1984. С. 3-7.
2. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1982. 256 с.
3. Герасимова А.С., Королев В.А. Проблемы устойчивости геологической среды к техногенным воздействиям // Гидрогеол. и инж. геол.: Обзор АО / "Геоинформарк". М., 1994. 47 с.
4. Голодковская Г.А., Елисеев Ю.Б. Геологическая среда промышленных регионов. М.: Недра, 1989. 220 с.
5. Зеегофер Ю.О., Тютюнова Ф.И. Техногенные подсистемы гидrolитосферы: Проблемы управления. М.: Наука, 1990. 128 с.
6. Королев В.А., Николаева С.К. Геоэкологическая оценка зон влияния инженерных сооружений на геологическую среду // Геоэкология, 1994. N 5. С. 25-37.
7. Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Недра, 1978. 350 с.
8. Круть И.В. Исследование оснований теоретической геологии. М.: Наука, 1973. 205 с.
9. Ревзон А.Л. Картографирование состояний геотехнических систем. М.: Недра, 1992. 223 с.
10. Сергеев Е.М. Инженерная геология — наука о геологической среде // Инж. геология. 1979. N 1. С. 1-9.
11. Сергеев Е.М., Трофимов В.Т. Влияние человека на литосферу в процессе инженерно-хозяйственной деятельности // Теоретические основы инж. геол. Социально-экономические аспекты / Под ред. акад. Е.М. Сергеева. М.: Недра, 1985. С. 14-27.
12. Сергеев Е.М., Трофимов В.Т. Геологическая среда как часть окружающей среды // Теоретические основы инж. геол. Социально-экономические аспекты / Под ред. акад. Е.М. Сергеева. М.: Недра, 1985. С. 27-32.

13. Трофимов В.Т., Баулин В.В., Зекцер И.С. и др. Закономерности изменения инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических условий при интенсивном техногенном воздействии // Проблемы рационального использования геол. среды. М.: Наука, 1988. С. 37–61.

14. Трофимов В.Т., Королев В.А., Герасимова А.С. Классификация техногенных воздействий на геологическую среду // Геоэкология. 1995. N 6.

15. Ферсман А.Е. Химия Космоса // Избр. тр. Т. II. М.: Изд-во АН СССР. 1953. С. 245–364.

К главе 2

1. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Природно-технические системы и их мониторинг // Инж. геол. 1990. N 5. С. 3–9.

2. Варганиян Г.С. и др. Литомониторинг — важный элемент охраны природной среды // Сов. геология. 1987. N 11. С. 118–131.

3. Гамбурцев А.Г. Концепция мониторинга природно-технических систем // Геоэкология. 1994. N 4. С. 12–19.

4. Герасимов И.П. Научные основы современного мониторинга окружающей среды // Изв. АН СССР, сер. географич., 1975. N 3. С. 13–25.

5. Епишин В.К. Биосфера и мониторинг // Человек и природа. М.: Недра, 1982. С. 14–73.

6. Епишин В.К., Трофимов В.Т. Особенности взаимодействия геологической среды и инженерных сооружений // Теоретические основы инж. геол. Социально-экономические аспекты / Под ред. акад. Е.М. Сергеева. М.: Недра, 1985. С. 32–36.

7. Епишин В.К., Трофимов В.Т. Литомониторинг — система контроля и управления геологической средой // Теоретические основы инж. геол. Социально-экономические аспекты / Под ред. акад. Е.М. Сергеева. М.: Недра, 1985. С. 243–250.

8. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 560 с.

9. Израэль Ю.А. Философия мониторинга // Метеорология и гидрология. 1990. N 6. С. 5–10.

10. Ковда В.А., Керженцев А.С. Экологический мониторинг: концепция, принципы организации // Региональный экологический мониторинг. М., 1983. С. 7–14.

11. Мельников П.И., Каменский Р.М., Павлов А.В. Мониторинг криолитозоны // Вестн. РАН. 1993. Т. 63. N 12. С. 1090–1095.

12. Мироненко В.А. О концепции государственного гидрогеоэкологического мониторинга России // Геоэкология. 1993. N 1. С. 19–29.

13. Мониторинг экзогенных геологических процессов / Тез. докл. науч.-техн. семинара 10–12 июня 1986, Ташкент. М.: ВСЕГИНГЕО, 1986. 224 с.

14. Осипов Ю.Б. Литомониторинг и рациональное использование геологической среды. М.: Акад. народн. хоз-ва. 1986. 113 с.

15. Рагозин А.Л. Основные подходы к организации мониторинга природно-технических систем с целью снижения ущерба от природных и техно-природных катастроф // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. М.: ВИНТИ, 1993. С. 42–50.

16. Шубин М.А. Декомпозиция и синтез геосистем для оценки и прогнозирования изменений геологической среды // Инж. геология. 1985. N 3. С. 124–129.

17. Ground water monitor // Ground Water Monitor. 1987. Vol. 3. N 3. P. 17–24.

18. Munn R.G. Global environmental monitoring system (GEMS). Action plan for Phase // SCOPE. Rep. 3. Toronto, 1973. P. 37–42.

К главе 3

1. Дерфлер Ф.Дж. Сети: от локальных к региональным и дальше // Персональный компьютер сегодня. 1993. N 4. С. 71–79.

2. Епишин В.К., Трофимов В.Т. Литомониторинг — система контроля и управления геологической средой // Теоретич. основы инж. геол. Социально-экономические аспекты. М.: Недра, 1985. С. 243–250.

3. Калмыков В. Модемы фирмы Hayes в России // Персональный компьютер сегодня. 1993. N 4. С. 81–83.

4. Кошелев С.А. Программирование без программирования. Использование утилиты Designer пакета Clargon для разработки программ // М.: Радио и связь. 1992. 192 с.

5. Крамм Р. Системы управления базами данных dBASE II и dBASE III для персональных компьютеров. М.: Финансы и статистика. 1988. 123 с.

6. Мониторинг подземных вод и экзогенных процессов // Тр. ГИДРОИНГЕО. Ташкент: САИГИМС. 1988. 100 с.

7. Мониторинг подземных вод и экзогенных геологических процессов // Тр. ГИДРОИНГЕО. Ташкент: САИГИМС. 1990. 121 с.

8. Разработка концепции мониторинга природно-технических систем / В 2-х томах. М.: ВНИИФТРИ, 1993. Т. 1, 215 с. Т. 2, 270 с.

9. СУБД для персональной ЭВМ “Ребус”. Руководство пользователя, версия 1.1. М.: ВНИИНСофт, 1987. 196 с.

10. СУБД Карат/М, версия 2.00. Описание системы и руководство программиста. Техническая документация. М.: ВНИИНСофт, 1988. 234 с.
11. Терентьев И.М., Грицаенко О.В. CLARION Professional Developer. М.: МП "Малип", 1993. 192 с.
12. Шоу Р.Х. Paradox Engine 3.0: шаг по пути к IDAPI // Персональный компьютер сегодня. 1993. N 4. С. 35-36.

К главе 4

1. Аверкина Т.И., Герасимова А.С., Ершова С.Б. и др. Устойчивость геологической среды: теория, проблемы картографирования // Инж. геол. сегодня: теория, практика, проблемы. М.: Изд-во МГУ, 1993. С. 12-26.
2. Антыпко А.И. Дистанционный тепловой мониторинг геологической среды городских агломераций // Сов. геология. 1989. N 3. С. 117-124.
3. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1982. 256 с.
4. Виноградов Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. М.: Наука, 1984. 321 с.
6. Гольдберг В.М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984. 261 с.
7. Зборищук Ю.Н. Дистанционные методы инвентаризации и мониторинга почвенного покрова. М.: Изд-во МГУ, 1992. 86 с.
8. Зилинг Д.Г. и др. Типизация геологической среды (на примере центральной части Мосбасса) // Гидрогеол. и инж.-геол. аспекты охраны геол. среды и водных ресурсов. М., 1985. С. 2-23.
9. Методика разработки поисковых прогнозов изменения геологической среды / Под ред. В.А. Мощанского. М.: Изд-во МГУ, 1988. 250 с.
10. Методические рекомендации по геохимическим исследованиям для оценки воздействия на окружающую среду проектируемых горнодобывающих предприятий. М.: ИМГРЭ, 1986. 98 с.
11. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 112 с.
12. Методические рекомендации по гидрогеологическим исследованиям и прогнозам для контроля за охраной подземных вод. М.: ВСЕГИНГЕО, 1980. 120 с.
13. Методические рекомендации по организации и ведению мониторинга подземных вод (изучение режима химического состава подземных вод). М.: ВСЕГИНГЕО, 1985. 76 с.

14. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометеоиздат, 1981. 108 с.

15. Методическое руководство по гидрогеологической и инженерно-геологической съемке масштаба 1:200 000 и 1:150 000. М., 1988. 116 с.

16. Назаров И.М., Николаев А.И., Фридман Ш.Д. Основы дистанционных методов мониторинга загрязнений природной среды. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 231 с.

17. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. Т. 10. 299 с.

18. Сборник руководящих материалов по охране недр при разработке месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1987. 591 с.

19. Ярг Л.А., Кувшинников В.М. Задачи и пути организации литомониторинга территорий ТЭС, сложенных карбонатными породами // Инж. геология. 1989. N 5. С. 71-75.

20. International Co-operative Programme on Integrated Monitoring: Field and Laboratory Manual / National Board of Waters and Environment. Finland, 1989. 443 p.

21. International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution on Forests in the ECE Region. Soil Expert Panel Draft Report // Ed. by M.R. Starr. 1990. 66 p.

22. Schuller R.M., Blye D.R. Diagnostic groundwater monitoring // Waste Age. 1986. Vol. 17. N 4. P. 253-258.

22. Slope stability monitoring. Proc. of the Int. Symp. on Geotechnical Stability in Surface mining (Calgary) 6-7 November 1986. Rotterdam-Boston, 1986. P. 335-410.

К главе 5

1. Гайдин А.М., Певзнер М.Е., Смирнов Б.В. Прогнозная оценка инженерно-геологических условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых. М.: Недра, 1983. 310 с.

2. Гулакян К.А., Кюнцель В.В., Постоев Г.П. Прогнозирование оползневых процессов. М.: Недра, 1977. 135 с.

3. Лукнер Л., Шестаков В.М. Моделирование миграции подземных вод. М.: Недра, 1986. 208 с.

4. Моделирование и прогнозирование изменений природных условий при распределении водных ресурсов // Тез. докл. II Всесоюз. науч. совещ. Новосибирск: Наука, 1987. 152 с.

5. Попов И.В., Бондарик Г.К., Розовский Л.Б. Задачи и методы долгосрочного прогноза инженерно-геологических условий // Рациональное использование земной коры. М.: Недра, 1974. С. 51-60.

6. Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях. М.: Стройиздат, 1991. 272 с.
7. Рац М.В. Структурные модели в инженерной геологии. М.: Недра, 1973. 214 с.
8. Смирнов Б.В. Вероятностные методы прогнозирования в инженерной геологии. М.: Недра, 1983. 134 с.

К главе 6

1. Беллман Р., Задэ Л. Принятие решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976. С. 172-215.
2. Воронкевич С.Д. Принципы и методы управления свойствами грунтов средствами технической мелиорации // Инж. геология. 1991. N 5. С. 3-18.
3. Воронкевич С.Д. Геоэкологические возможности и функции методов технической мелиорации грунтов // Геоэкология. 1993. N 2. С. 18-24.
4. Евланов Л.Г. Принятие решений в условиях неопределенности. М.: ИУНХ, 1976. 135 с.
5. Евланов Л.Г. Теория и практика принятия решений. М.: Экономика, 1984. 175 с.
6. Загоруйко Н.Г., Елкина В.Н., Лбов Г.С. Алгоритмы обнаружения эмпирических закономерностей. Новосибирск: Наука, 1985. 243 с.
7. Линник В.Г. Принятие решений в эколого-географических экспертизах // Основы эколого-географической экспертизы. М.: Изд-во МГУ, 1992. С. 35-47.
8. Макаров И.М. и др. Теория выбора и принятия решений. М.: Наука, 1987. 256 с.
9. Тюрин Ю.Н. Статистические методы анализа экспертных оценок. М.: Наука, 1977. 210 с.
10. Halepaska J.C. A manager's monitoring model // Ground Water Monitor. Rev. 1983. Vol. 3. N 1. P. 57.

К главе 7

1. Варга А.А. и др. Итоги и задачи изучения изменений геологической среды при крупном гидротехническом строительстве // Проблемы рационального использования геологической среды. М.: Наука, 1988. С. 139-152.
2. Голодковская Г.А., Лебедева Н.И. Инженерно-геологическое районирование территории Москвы // Инж. геология. 1984. N 3. С. 87-102.

3. Делятицкий С.В. Разработка методики создания и реализации целевого мониторинга "Территории захоронения твердых городских отходов". Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М.: МГРИ, 1991. 24 с.

4. Жигалин А.Д., Кофф Г.Л., Янченко Ю.Ф. К вопросу о влиянии искусственных тепловых полей на геологическую среду в условиях города // Инж. геология. 1981. N 4. С. 63-69.

5. Жигалин А.Д., Локшин Г.П., Просунцова Н.С. Опыт количественной оценки техногенного воздействия на геологическую среду // Инж. геология. 1990. N 1. С. 79-85.

6. Зилинг Д.Г. Оценка региональных изменений геологической среды платформенных территорий, вызываемых деятельностью горнодобывающих предприятий // Инженерная геология сегодня: теория, практика, проблемы. М.: Изд-во МГУ, 1988. С. 269-281.

7. Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Недра, 1978. 263 с.

8. Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды / Под ред. М.А. Глазовской, Н.С. Касимова. М.: Наука, 1989. 264 с.

9. Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв: Учеб. пособие / Под ред. Д.С. Орлова, В.Д. Васильевской. М.: Изд-во МГУ, 1994. 272 с.

10. Рациональное использование и охрана окружающей среды городов / Л.В. Бахирева, А.Д. Жигалин, М.В. Карагодина и др. М.: Наука, 1989. 91 с.

11. Ревич Б.А., Саэт Ю.Е. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 111 с.

12. Саэт Ю.Е. Геохимическая оценка техногенной нагрузки на окружающую среду // Геохимия ландшафтов и география почв. М.: Изд-во МГУ, 1982. С. 84-100.

13. Трофимов В.Т. и др. Закономерности изменения инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических условий при интенсивном техногенном воздействии // Проблемы рационального использования геол. среды. М.: Наука, 1988. С. 37-61.

14. Цоцур Е.С. и др. Картирование и анализ техногенных воздействий на территории города // Инж. геология. 1992. N 5. С. 98-103.

15. Шестаков В.М. Принципы гидрогеодинамического мониторинга // Разведка и охрана недр. 1988. N 8. С. 45-49.

16. Яковлев Е.А. и др. Итоги и задачи изменений геологической среды в районах возведения атомных электростанций // Проблемы рационального использования геол. среды. М.: Наука, 1988. С. 203-224.

17. Dowd R.M. Groundwater monitoring // Environ. Sci. and Technol. 1985. Vol. 19, N 6. P. 485.

18. Latkovich V.J. et al. Groundwater monitoring system // Proc. and Inf. Comm. Hydrol. Res. TNO. 1983. N 31. P. 538-545.

К главе 8

1. Геоэкологические основы территориального проектирования и планирования / Под ред. В.С. Преображенского и Г.Д. Александрова. М.: Наука, 1989. 144 с.

2. Епишин В.К., Трофимов В.Т. Литомониторинг — система контроля и управления геологической средой // Теоретические основы инж. геол. Социально-экономические аспекты. М.: Недра, 1985. С. 243-250.

3. Кофф Г.Л. К обоснованию региональных систем литомониторинга // Режимные инж.-геол. и гидрогеол. наблюдения в городах. М.: Наука, 1983. С. 6-11.

4. Методические рекомендации по составлению территориальных комплексных схем охраны природы области / Сост. В.И. Смирнов и др. Л.: ЛенНИИПградостроительства, 1986. 111 с.

5. Общая методика составления территориальных комплексных схем охраны окружающей среды городов. М.: ЦНИИПградостроительства, 1986. 118 с.

6. Принципы и методы геосистемного мониторинга / Под ред. А.М. Грина и Л.И. Мухиной. М.: Наука, 1989. 126 с.

7. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 319 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Вариант структуры типовой программы

“ЦЕЛЕВАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ПРОГРАММА МОНИТОРИНГА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ТЕРРИТОРИИ”

ВВЕДЕНИЕ

1. ТЕМАТИЧЕСКИЙ И СИТУАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ

- 1.1. Характеристика геологической среды района мониторинга
- 1.2. Характеристика техногенной нагрузки
- 1.3. Анализ ситуации и ее оценка
- 1.4. Цель и задачи организации мониторинга

2. МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

- 2.1. Методика исследований
 - 2.1.1. Предмет и объекты наблюдений
 - 2.1.2. Обоснование пространственной сети наблюдений
 - 2.1.3. Обоснование временного режима наблюдений
- 2.2. Методы исследований
 - 2.2.1. Инженерно-геологическое обеспечение
 - 2.2.2. Гидрогеологическое обеспечение
 - 2.2.3. Геокриологическое обеспечение
 - 2.2.4. Геофизическое обеспечение
 - 2.2.5. Дистанционные методы исследований
 - 2.2.6. Математическое обеспечение и ПДМ
 - 2.2.7. Транспортное и вспомогательное техническое обеспечение

3. ПРОБЛЕМНЫЙ РАЗДЕЛ

- 3.1. Научно-методические проблемы организации мониторинга
- 3.2. Технологические проблемы организации мониторинга

4. ПЛАН ОРГАНИЗАЦИОННЫХ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ МОНИТОРИНГА

- 4.1. Подготовительный этап
 - 4.1.1. Задачи этапа
 - 4.1.2. Содержание этапа
- 4.2. Создание информационной базы
 - 4.2.1. Задачи этапа
 - 4.2.2. Содержание этапа и структура АИС
 - 4.2.3. Финансирование системы мониторинга
 - 4.2.4. Организационные структуры мониторинга
- 4.3. Функционирование системы мониторинга
 - 4.3.1. Задачи этапа
 - 4.3.2. Оценка и прогноз ситуации
 - 4.3.3. Рекомендации и управление ПТС

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Литература

Приложение (Карта-схема организации мониторинга территории)

Приложение 2

Классы загрязняющих веществ по степени их опасности
(по ГОСТ 17.4.1.02-83)

N	Класс	Химическое вещество
I	Высоко опасные	мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, фтор, бензопирен
II	Умеренно опасные	бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром
III	Мало опасные	барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций, ацетофенон

Приложение 3

Показатели определения класса опасности химического вещества (по ГОСТ 17.4.1.02-83)

Показатель	Норма для классов опасности		
	I	II	III
Токсичность/ ЛД ₅₀	< 200	200-1000	> 1000
Устойчивость в почве, мес	> 12	6-12	< 6
Устойчивость в растении, мес	> 3	1-3	< 1
ПДК в почве	< 0,2	0,2-0,5	> 0,5
Влияние на пищевую ценность сельскохозяйственной продукции	сильное	умеренное	нет
Миграция	мигрирует	умеренная	нет

Приложение 4

Классификация элементов по степени геохимической подвижности в почвах (Глазовская, 1978)

Геохимическая ассоциация почв	Подвижность элементов		
	практически неподвижные	слабоподвижные	подвижные
Кислые субаэральные, pH < 5,5	Mo ⁴	Pb ¹⁻² , Cr ³⁻⁶ , Ni ²⁻³ , V ⁴⁻⁵ , As ³ , Se ³ , Co ²⁻³	Sr, Ba, Cu, Zn, Cd, Hg, S ⁶
Слабокислые и нейтральные субаэральные, pH 5,5-7,5	Pb	Sr, Ba, Cu, Cd, Cr ³⁻⁶ , Ni ²⁻³ , Co ²⁻³ , Mo, Hg	Zn, V ⁵ , As ⁵ , S ⁶
Щелочные и сильнощелочные субаэральные, pH 7,5-9,5	Pb, Ba, Co	Zn, Ag, Sr, Cu, Cd	Mo ⁶ , V ⁵ , As, S ⁶

Приложение 5

Критические кислотные нагрузки для лесных почв в зависимости от их минералогического состава (Нильсон, Гринфелд, 1988)

Класс устойчивости почв	Минералы, контролирующие выветривание	Критическая нагрузка, Н+кмоль/км ² в год
Очень чувствительные	кварц, К-полевые шпаты	< 20
Чувствительные	мусковит, плагиоклазы, биотит	20-50
Средней чувствительности	амфиболы	50-100
Слабочувствительные	пироксены, эпидот, оливин	100-200
Нечувствительные	карбонаты	> 200

Приложение 6

Санитарные нормы допустимых концентраций некоторых химических веществ в почвах (СанПиН 42-128-4433-87)

Наименование вещества	ПДК, мг/кг почвы с учетом фона (кларка)	Лимитирующий показатель
Подвижная форма:		
Кобальт	5,0	общесанитарный
Фтор	2,8	транслокационный
Хром	6,0	общесанитарный
Водорастворимая форма:		
Фтор	10,0	транслокационный
Валовое содержание:		
Бенз(а)пирен	0,02	общесанитарный
Ксилолы (орто-, мета-, пара-)	0,3	транслокационный
Мышьяк	2,0	транслокационный
Отходы флотации угля	3000	водный и общесанитарный
Ртуть	2,1	транслокационный
Свинец	32,0	общесанитарный
Свинец + ртуть	20,0 + 1,0	транслокационный
Элементарная сера	160,0	общесанитарный
Сероводород	0,4	воздушный
Серная кислота	160,0	общесанитарный
Стирол	0,1	воздушный
Формальдегид	7,0	воздушный
Хлористый калий	560,0	водный
Хром + 6	0,05	общесанитарный
Ацетальдегид	10,0	миграционно-воздушный
Суперфосфат (P ₂ O ₅)	200,0	переход в растения

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
Глава 1. Взаимодействие геологической среды и техносферы .	7
1.1. Геологическая среда как часть окружающей среды	7
1.2. Понятие о природно-технических системах	15
1.3. Экологический аспект взаимодействия человека, инженерных сооружений и геологической среды	19
1.4. Техногенные воздействия на геологическую среду и их классификация	25
1.5. Количественные показатели техногенного воздействия на геологическую среду	35
1.6. Устойчивость геологической среды к техногенным воздействиям	39
Контрольные вопросы к главе 1	45
Глава 2. Понятие о мониторинге геологической среды	46
2.1. Виды мониторинга	46
2.2. Системы и службы мониторинга	53
2.3. Назначение и содержание мониторинга геологической среды	62
Контрольные вопросы к главе 2	67
Глава 3. Структура мониторинга геологической среды	68
3.1. Общая структура мониторинга	68
3.2. Система АИС	72
3.3. Математическое обеспечение АИС	81
3.4. Локальные и региональные информационные сети мониторинга геологической среды	85
Контрольные вопросы к главе 3	89
Глава 4. Методы изучения техногенных изменений геологической среды	90
4.1. Наблюдательные сети и программы наблюдений	90
4.2. Дистанционные методы исследований	100
4.3. Основы методики оценки техногенных воздействий на геологическую среду	104

4.4. Методы суммарной оценки измененности геологической среды.....	118
4.5. Эколого-геологическое картирование территорий и составление карты-схемы организации мониторинга	124
Контрольные вопросы к главе 4.....	140
Глава 5. Моделирование и прогноз в системе мониторинга....	141
5.1. Моделирование в системе мониторинга.....	141
5.2. Постоянно действующие модели (ПДМ) в системе мониторинга.....	148
5.3. Виды и методы прогнозирования изменений геологической среды.....	156
5.4. Прогнозные карты изменения геологической среды.....	162
Контрольные вопросы к главе 5.....	166
Глава 6. Управление в системе мониторинга.....	167
6.1. Понятия теории управления.....	167
6.2. Принятие управляющих решений.....	172
6.3. Экспертные эколого-геологические оценки и решения.....	179
6.4. Управление геологической средой методами технической мелиорации.....	183
Контрольные вопросы к главе 6.....	187
Глава 7. Особенности организации мониторинга при различных видах хозяйственного освоения территорий.....	188
7.1. Мониторинг в районах развития горнодобывающей и перерабатывающей промышленности.....	188
7.2. Мониторинг районов гидротехнических сооружений.....	199
7.3. Мониторинг территорий городских агломераций.....	204
7.4. Мониторинг районов сельскохозяйственного и гидромелиоративного освоения.....	217
7.5. Мониторинг районов АЭС.....	232
7.6. Мониторинг территорий нефтегазопроводов и линейных транспортных систем.....	238
Контрольные вопросы к главе 7.....	246
Глава 8. Целевая комплексная программа мониторинга геологической среды территории.....	248
8.1. Цель и назначение программы.....	248
8.2. Структура программы.....	251
8.3. Этапы реализации программы.....	254
Контрольные вопросы к главе 8.....	255

Заключение	256
Список рекомендуемой литературы.....	257
Приложения.....	265

Учебное издание

Коромев Владимир Александрович

МОНИТОРИНГ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Зав. редакцией *И.И. Щегуря*

Редактор *Г.С. Савельева*

Художественный редактор *Л.В. Мухина*

Переплет художника *В.С. Казакова*

Технический редактор *Г.Д. Колоскова*

Оператор ПЭВМ *К.Е. Панкратьев*

Корректоры *Г.В. Сибирцева,*

Н.М. Жидкова

ИБ № 7309

ЛР № 040414 от 27.03.92

Сдано в набор 17.02.95. Подписано в печать 19.06.95.

Формат 60 × 90 1/16. Бумага офс. книж.-журн.

Гарнитура литературная. Офсетная печать.

Усл. печ. л. 17,0. Уч.-изд. л. 18,22.

Тираж 1000 экз. Заказ 1236 Изд. № 5726.

Оригинал-макет подготовлен
с использованием издательской системы Т_ЕХ
в ЛВМ механико-математического факультета МГУ.

Ордена "Знак Почета" издательство
Московского университета.
103009, Москва, ул. Б. Никитская, 5/7.

Типография ордена "Знак Почета" изд-ва МГУ.
119899, Москва, Воробьевы горы