

ISSN 0869-7803

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ГЕО ЭКОЛОГИЯ

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ
ГИДРОГЕОЛОГИЯ
ГЕОКРИОЛОГИЯ

5

1997

ГЕОЭКОЛОГИЯ

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ.
ГИДРОГЕОЛОГИЯ. ГЕОКРИОЛОГИЯ

ЖУРНАЛ ОСНОВАН В ЯНВАРЕ 1979 ГОДА

5 • 1997

(до 1993 г. назывался "Инженерная геология")

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

сентябрь–октябрь

МОСКВА "НАУКА"

СОДЕРЖАНИЕ

Данилов И.Д. Криогенная экосистема Арктического бассейна.....	3
Изменение природной среды	
Ковалевский В.С., Семенов С.М., Ковалевский Ю.В. Воздействия климатических изменений на подземные воды и взаимосвязанную с ними окружающую среду.....	16
Зверев В.П., Варварина О.Ю., Путилина В.С. Закономерности изменения состава атмосферных осадков на территории России.....	30
Капельщиков Н.А., Лукашев В.К., Новиков Г.В., Романов В.П., Фейгельман М.Е. Геоэкологические исследования в зоне влияния Игналинской АЭС.....	39
Геоэкологические проблемы урбанизированных территорий	
Казакова И.Г., Слинко О.В. Опасность и характер негативных последствий при подтоплении города	49
Захоронение и утилизация отходов	
Купалов-Ярополк О.И., Лукшина Н.В., Жемерикина Л.В., Швец В.М. О прогнозировании экологической безопасности захоронения жидких РАО в зонах сочленения платформенных и горноскладчатых областей	60
Загрязнение подземных вод	
Боревский Б.В., Боревский Л.В., Бухарин С.Н., Григоров С.И., Егоров Н.Н., Шипулин Ю.К., Шипанский А.А., Юнак А.И. К проблеме локализации и ликвидации нефтяных загрязнений на объектах Минобороны РФ	75

Методы и методология исследований

Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Роль и место наук геологического цикла в логической структуре экологической геологии.....	84
Мазухина С.И., Калабин Г.В., Каржавин В.К., Карпов И.К. Физико-химическое моделирование процесса выщелачивания нефелина под воздействием кислых атмосферных осадков.....	91
Речицкий В.И., Эрлихман С.А. Современные методы определения прочности на сдвиг по трещинам	96
Дубина М.М., Демченко Р.Я. Расчет температурного режима зданий с проветриваемым подпольем в криолитозоне.....	102
	115

Краткие сообщения

Шициц И.Ю. О комплексной оценке нарушений природной среды при подземном захоронении радиоактивных отходов	121
---	-----

Рецензии

Об учебнике "Гидрогеохимия"	124
-----------------------------------	-----

УДК 522.14:624.131

© 1997 г. И.Д. ДАНИЛОВ

КРИОГЕННАЯ ЭКОСИСТЕМА АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА

В работе комплексно и целенаправленно характеризуются главные компоненты природной среды, определяющие своеобразие Арктического бассейна как специфической криогенной экосистемы: тектоно-геоморфологическое строение, гидрологический, температурный и ледовый режимы, история развития. Основное внимание уделено криогенному состоянию донных грунтов, находящихся в поле отрицательных температур: переохлажденные, сезонно- и многолетнемерзлые (новообразованные и реликтовые). Показано, что достоверные результаты о формировании и состоянии субаквальных мерзлых толщ могут быть получены посредством лишь комплексного анализа природной системы Арктического бассейна в целом.

Северный Ледовитый океан подразделяется на основе тектонического, геоморфологического, гидрологического, историко-палеогеографического и ряда других природных факторов на три достаточно самостоятельных бассейна: Норвежско-Гренландский, Канадский и Арктический. Предметом настоящего сообщения является последний, именуемый нередко океаном.

Арктический океан (бассейн) занимает циркумполярное положение и окаймлен с юга Евразией, Северной Америкой, островами Канадского Арктического архипелага и Гренландией. Граница с Норвежско-Гренландским регионом проходит от северной Гренландии к Шпицбергену примерно вдоль 80° с.ш., а от Шпицбергена на юг по бровке Баренцевского шельфа до берегов северной Норвегии. В таком его понимании Арктический бассейн включает глубоководную приполярную часть Северного Ледовитого океана (в основном глубоководное ложе и арктические моря, расположенные главным образом в пределах подводной материковой отмели).

Важной отличительной особенностью строения дна Арктического океана является то обстоятельство, что более 50% его площади занимает шельф – самый обширный в Мировом океане. Максимальной ширины до 1300 км он достигает в пределах Баренцева моря (рис. 1). Северный Ледовитый океан в целом – наименьший по сравнению со всеми остальными, его площадь (14,75 млн. км²) составляет всего 4,1% от площади Мирового океана, средняя глубина также невелика и равна 1225 м (максимальная 5527 м), подводная окраина материков занимает 74,6% площади, в том числе шельф – 50,3%, материковый склон – 18,4%, материковое подножие – 5,9% (в Мировом океане доля шельфа на порядок меньше и равна всего 5,5%).

Если рассматривать отдельно Арктический бассейн, то в нем соотношение между океаническими пространствами и шельфом увеличивается в пользу последнего. По распределению глубин и рельефу дна Арктический шельф неоднороден. В пределах евразийского сектора выделяются в этом отношении две главные области: западная – моря Баренцево и Карское и восточная – моря Лаптевых и Восточно-Сибирское. Особое место занимает шельф в районе Чукотского моря, а также моря Бофорта.

Глубины Баренцева и Карского морей в пределах шельфовой зоны достигают значительных величин: 400 м во впадинах и 600 м в желобах, в среднем составляют 222 м в первом случае и 111 м – во втором. Для рельефа дна характерно наличие мелководных банок, отмелей вокруг островов и наряду с ними глубоких котловин и ложбин, наследующих элементы древней, дочернетвертичной гидрографической сети [16].

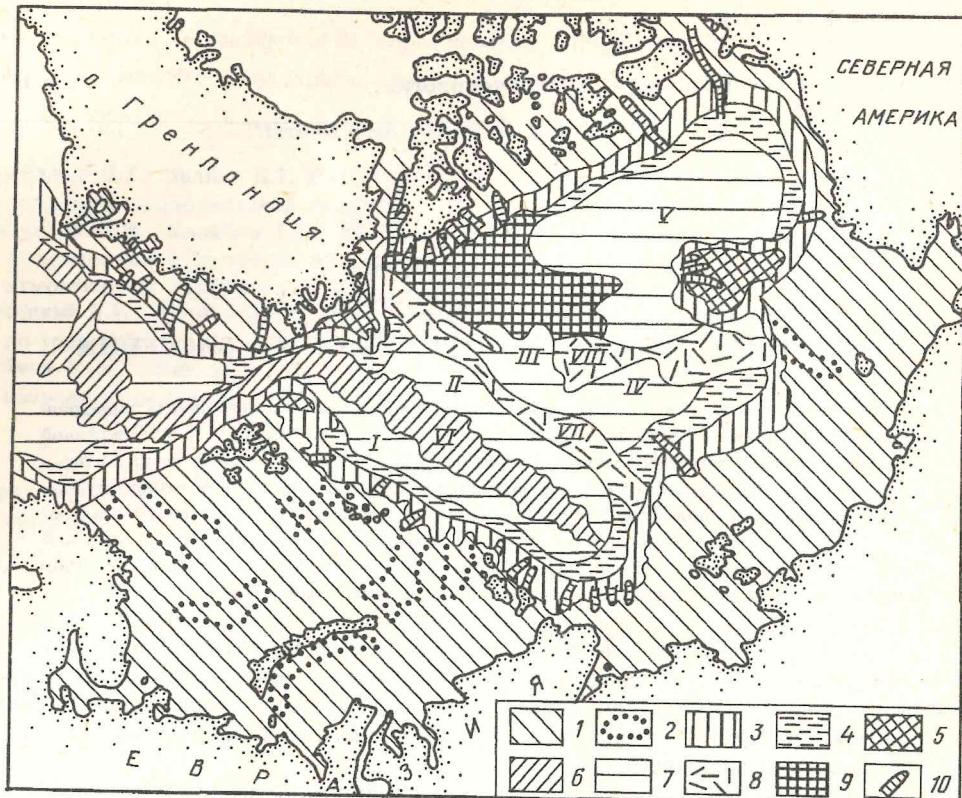


Рис. 1. Геоморфологическая схема Арктического бассейна [21]: 1 – шельф; 2 – крупные впадины на шельфе; 3 – материковый склон; 4 – материковое подножие; 5 – краевые плато; 6 – срединно-океанические хребты; 7 – океанические котловины; 8 – сводово-глыбовые хребты; 9 – океанические плато; 10 – подводные каньоны. Котловины: I – Нансена; II – Амундсена; III – Макарова; IV – Подводников; V – Канадская; хребты: VI – Гаккеля; VII – Ломоносова; VIII – Менделеева

Совершенно отличный характер имеет шельф в пределах моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. Средняя их глубина 50–55 м, а на обширных площадях в южной, исключительно шельфовой части обоих морей не превышает 20–25 м. Рельеф дна в основном плоский, на этом фоне отчетливо прослеживаются затопленные долины современных рек – Хатанги, Лены, Индигирки, Колымы. Своеобразным элементом рельефа дна являются крупные дугообразные гряды высотой 5–10 м и длиной до нескольких километров, повторяющие очертания береговой линии островов Новосибирского архипелага и являющиеся скорее всего затопленными аккумулятивными береговыми формами. Для обоих морей характерны обширные мелководные заливы, прибрежная часть дна которых осушается во время длительных ветров южных румбов – берега ветровой осушки – и напротив, затапливается вместе с низменными прибрежными участками при устойчивых северных ветрах.

В пределах Чукотского моря, имеющего среднюю глубину 70 м, Арктический шельф отличается относительной сложностью рельефа. Характерная его черта – наличие затопленных речных долин (Хоуп и др.) и древних береговых аккумулятивных форм типа баров, располагающихся на глубине от 40–50 до 12–16 м. Наиболее глубокие из них датированы методами абсолютной геохронологии и имеют возраст 14–15 тыс. лет [9, 23]; бары, находящиеся ближе к берегу и, следовательно, на меньших глубинах, моложе. Эти факты дают основание для вывода, что практически весь шельф в пределах Чукотского моря, а также более мелководных морей –

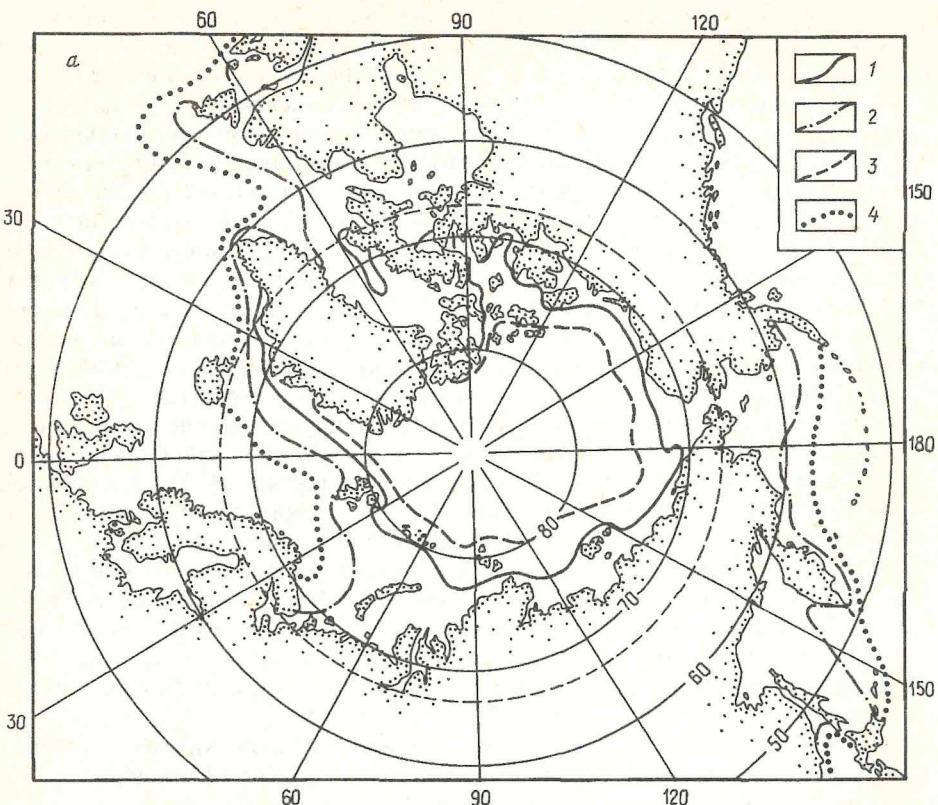


Рис. 2. Распределение морских льдов в Северном полушарии [6]: 1–2 – среднее положение кромки льдов (1 – годовой минимум, 2 – годовой максимум); 3–4 – крайние ее положения (3 – минимум, 4 – максимум) по наблюдениям в 60–70-х годах

Восточно-Сибирского и Лаптевых – начал затапливаться лишь в самом конце позднего плейстоцена, т.е. 14–15 тыс. лет назад. Несколько позднее (около 12 тыс. лет назад [18]) произошло соединение Северного Ледовитого и Тихого океанов через Берингов пролив, средняя глубина которого составляет 39 м. Для побережий Чукотского моря характерны многочисленные лагуны, отделенные от него песчано-галечными косами и барами.

В районе североамериканского континента Арктический шельф намного меньше по площади, чем в пределах евразийского. В районе моря Бофорта ширина его колеблется от нескольких десятков до 150 км. Характерным элементом рельефа являются затопленные долины рек, продолжающие современные – Макензи и др. Так же небольшие пространства занимает шельфовая зона в районе Канадского Арктического архипелага и северной оконечности Гренландии. Погрузившаяся под уровень моря раздробленная и сильно расчлененная северная часть Канадского кристаллического щита представляет собой в настоящее время многочисленные большие и мелкие острова, разделенные проливами, покрытыми льдом почти круглый год. О тектонической природе проливов свидетельствуют находки остатков наземной растительности и почв плейстоценового возраста в донных грунтах на глубинах моря 250 и 370 м [21].

Циркумполярное положение Арктического океана и его ограниченная связь со смежными океанами обуславливает его интенсивное приповерхностное выхолаживание и, как следствие, высокую ледовитость, которая в свою очередь также является существенным охлаждающим климатическим фактором. Зимой Арктический океан, за исключением юго-западной части Баренцева моря, покрыт льдами целиком (рис. 2).

В результате их охлаждающего влияния средняя зимняя температура снижается на 20°C или более [4]. Средняя толщина многолетних паковых льдов $4,0\text{--}4,5$ м, они составляют 80% дрейфующих льдов; однолетние и торосистые нагромождения составляют по 10% каждый, толщина их в первом случае минимальная – $1,5\text{--}2,0$ (до $2,5$ м), во втором максимальная – до $20\text{--}25$ м. Большие площади, особенно в мелководных морях, занимает морской припай, ширина которого максимальна в районе моря Лаптевых и Восточно-Сибирского (несколько сотен километров), в Печорском море – до 100 км, у побережья Чукотки и Аляски – всего $5\text{--}20$ км, а средняя толщина примерно соответствует толщине однолетнего льда. Покрытый льдами Северный Полярный океан, по образному выражению В.Ю. Визе, превращается в "климатическую сушу", поэтому в центральной его части годовая амплитуда средней месячной температуры воздуха составляет $35\text{--}38^{\circ}\text{C}$, что характерно для весьма континентального климата, в то время как в неледовитой, североатлантической части не превышает 10°C , составляя на основной площади акватории $6\text{--}8^{\circ}\text{C}$ [2].

Суммарный радиационный баланс в центральной, круглогодично ледовитой части Арктического бассейна имеет небольшие отрицательные значения в пределах от 0 до -3 ккал/ см^2 на относительно небольших площадях [2]. В периферических частях он положительный и колеблется от 2 до 20 ккал/ см^2 и несколько более (Баренцево море). Затраты на испарение повсеместно превышают количество тепла, поступающего от Солнца, составляя в основном от 5–10 ккал/ см^2 в год и достигая в западном секторе 20–40 и местами 60 ккал/ см^2 в год. Часть тепла поступает за счет турбулентного теплообмена между водной поверхностью и атмосферой; в основном это происходит в районах, куда поступают теплые атлантические воды – моря Баренцево и в меньшей степени Карское. Отепляющее влияет на нижние слои атмосферы сток крупных рек – Оби, Енисея, Лены, Макензи и др.

В целом можно резюмировать, что на основной площади Арктического океана тепловой поток направлен (в среднем за год, а зимой на всей площади) от нижележащих водных слоев к поверхности и далее в атмосферу. И только летом потоки тепла направлены в глубинные слои океана, а в среднем за год – лишь в некоторых районах, прилегающих к берегам Восточной Сибири и Северной Америки [21]. Как известно, суммарное температурное влияние различных климатических факторов выражается в виде средней годовой температуры воздуха, которая достигает -20°C у Северного полюса и несколько восточнее его. Южную границу плавучих морских льдов оконтуривают изотермы среднегодовой температуры воздуха $-10 \div -15^{\circ}\text{C}$, реже -5°C .

Для теплового режима Арктического океана помимо теплообмена с атмосферой большое значение имеет теплообмен с соседними океанами. Основное количество вод в Северный Ледовитый океан поступает из Атлантики – 83,1% годового притока (213 тыс. км³ в год); из Тихого океана поступает 14,7% годового притока, т.е. 37,5 тыс. км³ [1]. Весьма значительную долю (~2%) составляет материковый сток (5,1 тыс. км³ в год). Если его равномерно распределить на поверхности океана, то образуется слой толщиной 35,5 см, тогда как в Мировом океане эта величина равна всего 13,0 см, т.е. почти в 3 раза меньше [21]. В Арктическом бассейне данное обстоятельство в первую очередь связано со стоком таких рек, как Обь, Енисей, Лена, Колыма, который в сумме составляет 1,5 тыс. км³ в год, что соответствует 30% объема стока в Северный Ледовитый океан и 50% объема стока в Арктическую его часть. С атлантическими водами в Арктику поступает 42% теплового притока, с тихоокеанскими – примерно на порядок меньше, а с речными 1–2%, т.е. всего ~50% теплового баланса.

В результате теплообмена с атмосферой и тепловodoобмена с соседними океанами, а также речным стоком и ряда других факторов возникает эффект вертикальной температурно-соловой стратификации водной толщи Арктического океана. Она в глубоководной части бассейна четко подразделяется на три основные водные массы: поверхностьную, промежуточную и глубинную.

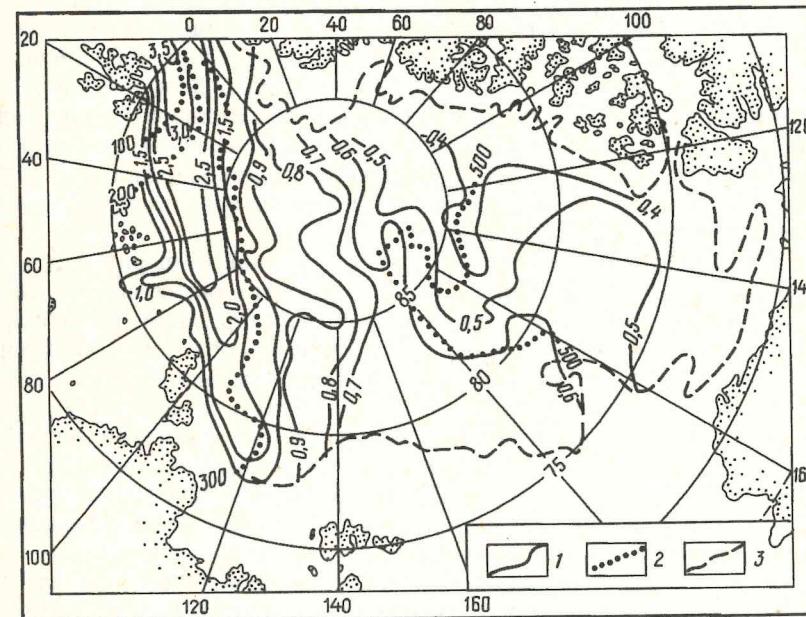
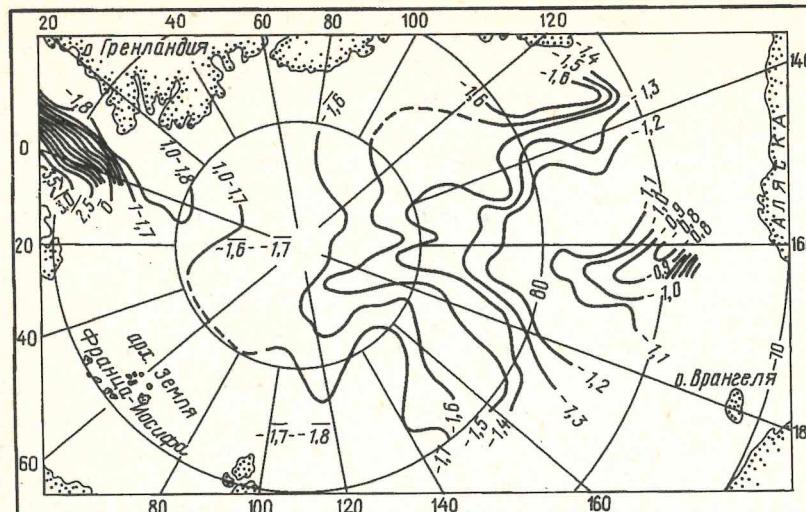


Рис. 3. Распределение температур вод в Арктическом бассейне [21]: *a* – температура приповерхностных вод на глубине 100 м; *b* – максимальная температура промежуточных атлантических вод: 1 – изотермы, °С; 2 – изолинии глубин максимальной температуры, м; 3 – изобата 500 м

В приповерхностном слое до глубин 100–250 м воды имеют отрицательную (до $-1,7$; $-1,8^{\circ}\text{C}$) температуру (рис. 3,*a*), вследствие их выхолаживания, и пониженную (29,0–34,6‰) соленость, вследствие опресняющего влияния речного стока и таяния снега и льда. Формирование этого слоя происходит при смешении пресных вод с водами атлантического и тихоокеанского (Беринговоморское течение) происхождения. Ниже находится положительнотемпературная (промежуточная) водная масса, образованная теплыми водами, поступающими из Северной Атлантики через восточную часть пролива Фрама (рис. 3,*b*). Эти воды севернее Шпицбергена движутся в основном на восток вдоль континентального склона в направлении морей Баренцева, Карского и

Лаптевых, проникая в них по желобам. На "входе" эти воды имеют температуру 3,0–3,5°C, а к востоку от Северной Земли – 1–2°C. Они также распространяются в центральную и amerазийскую части бассейна, где температура их опускается до 0,4–0,5°C. Соленость вод высокая – 34,9–35,6‰. Толщина атлантической водной массы достигает 800–900 м, местами – дна. С глубин ~800–1000 м в океанической части Арктического бассейна начинается огромная глубинная или донная водная масса с постоянной высокой соленостью около 35‰ и температурой от –0,4 до –0,9°C. Толщина ее зависит от глубины океана и может достигать в котловинах и впадинах 3 км и выше, более чем в 2 раза превосходя максимальную установленную мощность отрицательнотемпературных горных пород на суше (1,5 км). Холодные глубинные воды формируются в котловинах Норвежско-Гренландского бассейна и проникают в Арктический океан через пролив Фрама под теплыми атлантическими водами и менее солеными холодными арктическими [21].

В пределах Арктического шельфа морские воды до глубин 15–20 м испытывают существенные сезонные колебания температуры, которая летом положительная (в среднем 3–5°C, достигая 8–10°C), а зимой отрицательная (от –1,0 до –1,5°C), причем в верхних 1,5–2,0 м вода переходит в твердую фазу. Ниже располагается водная масса с преобладающей соленостью 31–32‰ и отрицательной температурой, минимальные значения которой $-1,7 \pm -1,8^{\circ}\text{C}$, а наиболее частые колеблются от –1,8 до –1,5°C. Исключение составляет юго-западная часть Баренцева моря, где температура воды летом и зимой положительная, нулевая зимняя изотерма почти доходит до восточной оконечности Кольского полуострова, западных берегов Новой Земли и архипелага Шпицберген. Небольшая область положительнотемпературных придонных вод находится в южной части Чукотского моря (влияние Берингоморского течения). Близ устьевых частей крупных рек образуется тонкий приповерхностный слой толщиной 10–20 м сильноопресенных (до 15–20‰) и теплых вод (температура до 10°C), а потому более легких, чем нижележащие воды.

В областях распространения водных масс с отрицательной температурой, т.е. в пределах криогидросферы, донные осадки и горные породы в определенном интервале глубины также находятся в поле отрицательных температур, составляя субмаринную часть криолитосфера (рис. 4). По своему происхождению они могут быть подразделены на две главные категории: сформированные в субаквально-морских и субаэрально-континентальных условиях. В последнем случае мерзлые толщи были погружены впоследствии под уровень моря и пришли в соответствие с новыми термодинамическими условиями. По времени существования субмаринные криогенные осадки и породы подразделяются на сезонные и многолетние, по возрасту – на современные и реликтовые, по состоянию – на охлажденные (переохлажденные), мерзлые и оттаивающие [12].

Сезонномерзлые породы распространены в прибрежной, мелководной части морских водоемов и связаны либо с зимним промерзанием талых донных грунтов, либо с летним оттаиванием придонных частей многолетнемерзлых толщ. В сезонномерзлых слоях в течение годового цикла осуществляется фазовый переход иловой воды в лед и обратно. Сезонноохлажденными являются донные осадки, в которых незамерзшая вода в виде солевых растворов абсолютно преобладает над льдом и дважды в год происходит переход температуры через 0°C. В многолетнеохлажденных осадках также преобладает незамерзшая соленая иловая вода, благодаря чему они сохраняют текучесть или пластичность, несмотря на длительное пребывание в поле отрицательных температур.

Реликтовые многолетнемерзлые породы формировались в этапы регрессии и полного или частичного осушения Арктического шельфа. Последняя крупная регрессия приходится на конец позднего плейстоцена и датируется временным интервалом от 20–25 до 14–15 тыс. лет назад, соответствующа сартанскому криохрону [9]. Шельф на севере Евразии осушился частично до глубин не менее 50 м, и особенно значительные площади суши возникали на северо-востоке Сибири в пределах мелководной части

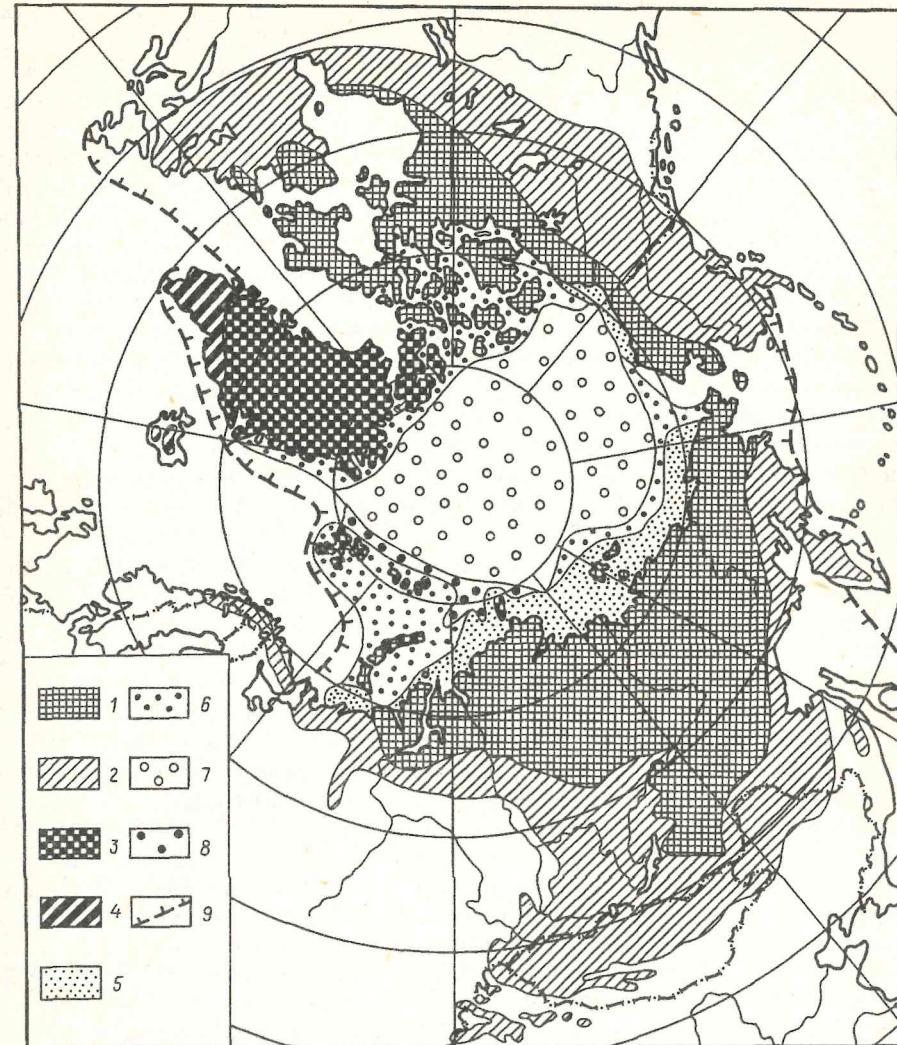


Рис. 4. Криогенная зона Северного полушария Земли, состоящая из трех составных частей – криолитосферы, гляциосферы, и криогидросферы: 1–2 – многолетнемерзлые породы суши (1 – сплошного и 2 – несплошного распространения), границы даны по Т. Певе; 3–4 – ледники и под ними многолетнемерзлые породы суши (3 – сплошного и 4 – несплошного распространения); 5–6 – субмаринная криогенная зона шельфа – устойчивый, в основном сезонный ледовый покров, отрицательнотемпературные морские воды и придонные грунты (5 – реликтовые мерзлые толщи со льдом, затопленные в ходе голоценовой трансгрессии, 6 – охлажденные донные осадки без ледяной составляющей); 7–8 – субмаринная океаническая криогенная зона – устойчивый многолетний ледовый покров, отрицательнотемпературные приповерхностные воды, а также придонные воды и грунты (7 – с отрицательной температурой, 8 – с положительной температурой); 9 – граница распространения плавучих льдов – средний годовой максимум

морей Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского. В голоцене Арктический шельф, как и в других регионах Мирового океана, был затоплен, но многолетнемерзлые породы ниже верхней, абрациейированной части сохранились, о чем свидетельствуют многочисленные данные о их нахождении под дном моря, причем они содержат залежи подземных льдов субаэрального происхождения, имеющих пресный и ультрапресный химический состав [8, 12, 22 и др.].

Главными факторами, определяющими возможность сохранения или уничтожения реликтовых многолетнемерзлых пород под дном морей, являются: 1) исходная мощность мерзлых толщ перед затоплением; 2) длительность их пребывания в условиях морского дна; 3) температура придонного слоя морской воды; 4) интенсивность внутриземного потока тепла. Последний фактор обуславливает деградацию мерзлых толщ снизу, деградация сверху осуществляется в результате взаимодействия с толщей морской воды. Аналитические расчеты позволяют предполагать [20], что для полного протаивания мерзлых толщ мощностью 500 м снизу в условиях суши при температуре воздуха 0°C необходимо около 50 тыс. лет, т.е. за 1 тыс. лет оттаивает ~10 м. Близкой величиной (15 м в 1000 лет) оценивает скорость протаивания мерзлых толщ снизу в субаквальной мелководной зоне А.Х. Лахенбрук [13]. Но поскольку температура придонной воды в арктических морях в основном отрицательная и достигает -1,8°C, это обуславливает постоянный поток холода вниз, поддерживающий мерзлое состояние реликтовых толщ. Поэтому вполне возможно допустить, что в условиях субмаринной криолитозоны скорость протаивания снизу будет по меньшей мере вдвое меньшей, чем в субаэральных условиях при температуре воздуха 0°C. Иными словами, за время, соответствующее началу последней трансгрессии (14–15 тыс. лет), снизу могло протаять порядка 70–75 м (максимум 140–150 м) мерзлых пород, ныне находящихся под дном моря.

Протаивание сверху достаточно активно может происходить только в областях распространения положительнотемпературных придонных вод, имеющих атлантическое или тихоокеанское происхождение, т.е. в основном это юго-западная часть Баренцева моря и южная часть Чукотского. Определенным образом воздействуют на мерзлые толщи морские соли, вследствие чего придонные слои пород, содержащие пресные льды, засоляются и переходят в текучее или пластичное состояние, находясь в поле отрицательных температур. Наблюдения и расчеты показывают, что процесс этот распространяется на глубину первых метров от поверхности дна, т.е. существенно не влияет на состояние и исходную мощность мерзлых толщ.

Достоверные данные о современной мощности многолетнемерзлых пород на Арктическом шельфе отсутствуют, результаты геофизических исследований нередко противоречивы и позволяют лишь предполагать искомые значения ее величины. На побережьях Арктических морей установленные мощности мерзлых толщ таковы: Печорское море (устье р. Печора) – 150 м; Карское море (северная часть полуостровов Ямал и Гыданский) – 400–500 м; море Лаптевых (район Тикси) – 650–700 м; Восточно-Сибирское море (район Чаунской губы) и Чукотское море (район мыса Шмидта) – 300–350 м. Если прибавить к указанным цифрам возможные величины оттаивания мерзлых толщ снизу за время их нахождения под уровнем моря, получим соответственно следующие значения исходных мощностей: 220–300 м – Печорское море; 575–650 м – Карское море; 775–850 м – море Лаптевых и западная часть Восточно-Сибирского; 425–500 м – Чукотское море (максимальные цифры получены согласно расчетам [20], минимальные – по нашим). Возможно, в северных районах распространения реликтовых многолетнемерзлых пород на Арктическом шельфе мощность их могла быть больше, чем в южных районах, если времени промерзания было достаточно для достижения большей величины мощности при существовавших тогда термических условиях.

В свете всего вышесказанного может быть сделан вывод, что наиболее благоприятные условия для формирования реликтовых многолетнемерзлых пород создавались во время позднеплейстоценовой регрессии в пределах мелководных морей северо-восточного сектора Азии – Лаптевых, Восточно-Сибирского – и именно здесь они имеют максимально широкое распространение и максимальную мощность. В отличие от этих морей в пределах относительно глубоководных – Карского и Баренцева – шельф в позднем плейстоцене осушился на сравнительно небольших площадях. Основная его часть находилась под водами достаточно глубокого моря, где условия для формирования мерзлых толщ отсутствовали, они возникали лишь на осушенных

мелководьях в прибрежной зоне, где сохранились до настоящего времени. Этому способствовало, в частности, наличие в южной части Карского моря отрицательнотемпературных соленных придонных вод под более легкими, опресненными и теплыми приповерхностными обь-енисейскими водами толщиной 15–20 м [15].

Формирование твердомерзлых, льдосодержащих пород в условиях морского дна происходит и в настоящее время – это новообразованные сезонно- и многолетнемерзлые породы. Возможность проявления данного процесса определяется прежде всего условиями теплообмена между атмосферой, гидросферой моря и литосферой. Благоприятные условия для промерзания донных грунтов и перехода содержащейся в них влаги в твердую фазу создаются на илистых отмелых побережьях, где морской лед смерзается с дном. При удалении от берега в сторону моря и с ростом толщины льда глубина промерзания донных грунтов уменьшается и особенно резко сокращается там, где появляется подледный слой морской воды. Как показали исследования в прибрежной зоне моря Лаптевых [12, 13], при толщине этого слоя выше 0,5 м донные осадки вследствие относительно хорошей прогреваемости вод не промерзают, т.е. не переходят в твердомерзлое состояние. Поскольку толщина однолетнего морского льда не превышает 2,0–2,5 м, глубины новообразования мерзлых пород ограничены изобатами 2,5–3,0 м – это самая прибрежная полоса мелководий, участки подводных баров и песчаных банок. Новообразованный мерзлый слой весьма динамичен, площадь его распространения зависит от типа берега и уровня моря на момент формирования ледяного покрова. На отмельных берегах, если ледяной покров образовался при низком уровне моря, он смерзается с донными осадками, верхняя их часть также промерзает на расстояние нескольких километров от берега. При условии сохранения данной ситуации в течение нескольких лет подряд возникают сначала разрозненные линзы-перелетки мерзлых пород, а затем и выдержаный слой многолетнемерзлых пород. Благоприятным обстоятельством для их возникновения является опреснение прибрежных морских вод, температура замерзания которых с увеличением солености понижается. Существенная роль в охлаждении и промерзании прибрежных донных осадков принадлежит теплопотерям, ориентированным в горизонтальном направлении. Промерзание последовательно распространяется по латерали в сторону акватории и постепенно захватывает наиболее удаленные от берега участки, возникают горизонтально ориентированные "языки" или "козырьки" мерзлых пород, что отмечалось многими исследователями [7, 13 и др.].

Как показано в начале статьи, на основной площасти Арктического бассейна расход тепла намного превышает его приход. Это находит свое выражение в том, что суммы отрицательных температур воздуха здесь больше сумм положительных. Однако существенному зимнему охлаждению донных грунтов препятствует устойчивый ледовый и снежный покровы на поверхности моря, а также подледный слой воды. Общее термосопротивление тем значительнее, чем больше толщина снежно-ледяного покрова и подледного слоя морской воды, чем выше в нем и иловых водах донных осадков концентрация солей. С ее возрастанием не только понижается температура замерзания растворов и грунта, но и увеличивается период их кристаллизации. Поэтому в течение всего времени нарастания льда на поверхности морской воды ее охлаждение крайне замедленно. К концу зимы при максимальной толщине ледового покрова под ним на мелководьях образуются замкнутые пространства воды, минерализация которой достигает 70–80 г/кг, т.е. более чем вдвое превышает среднюю соленость океанических вод, а температуры отрицательные [12]. При такой солености растворы замерзают при температуре -3; -5°C.

Одновременно повышается минерализация придонного слоя осадков. Содержащиеся в них иловые (поровые) воды имеют обычно большую минерализацию, чем морская вода [5, 8 и др.]. Установлено, что с повышением в донных илах концентрации NaCl на 1% (к весу абсолютно сухой навески) температура их замерзания понижается на ~0,6°C. Согласно экспериментальным данным исследований [17], замерзание алевритовых илов с соленостью 2% начинается при температуре -1,2 + -1,3°C; соленостью

4% – $-2,4 \div -2,6^{\circ}\text{C}$; соленостью 5% – $-3,2^{\circ}\text{C}$. Окончательный их переход в мерзлое состояние при солености 2% происходит при температуре $-1,6 \div -1,7^{\circ}\text{C}$; при солености 4 и 5% соответственно – при температуре -4 и -5°C .

Летнему прогреванию донных отложений Арктических морей в отличие от зимнего охлаждения не препятствуют ни снежный, ни ледовый покровы, термоизолятором является лишь слой воды. Общее термосопротивление будет тем выше, чем больше глубины моря. В морях Лаптевых, Восточно-Сибирском сезонные переходы температуры морской воды через 0°C совершаются до глубин 13–15 м, а в Карском море – до 18–20 м. При этом на мелководьях до глубин 8–10 м температура придонного слоя воды летом достигает значений $10\text{--}12^{\circ}\text{C}$.

Обобщение фактических данных, выполненное Л.А. Жигаревым для морей восточного сектора Евразии [12, 13], показывает, что на отмелых прибрежных участках морей при глубинах до 2,5–3,0 м суммы положительных температур придонного слоя воды за год значительно меньше суммы отрицательных, поэтому здесь образуются сезонно- и многолетнемерзлые породы. В интервале глубин моря от 2,5–3,0 до 8–10 м годовые суммы положительных температур превышают суммы отрицательных, и здесь возникают лишь сезонно-криогенные породы. При дальнейшем удалении от берега и увеличении глубин моря в пределах слоя сезонных колебаний температуры, т.е. до изобаты 15–20 м, начинают преобладать суммы отрицательных годовых температур, здесь формируются сначала сезонно-, а затем многолетнекриогенные породы. На глубинах моря, превышающих мощность слоя сезонных колебаний температуры, осадки шельфа в придонной части находятся постоянно в поле отрицательных температур, т.е. являются многолетнекриогенными – либо твердомерзлыми (реликтовыми), либо текучими или пластичными (засоленными, охлажденными).

Многолетнеохлажденные осадки пользуются самым широким распространением как на Арктическом шельфе, так и в глубоководных частях Арктического бассейна (см. рис. 4). Если судить по отрицательным температурам придонного слоя морской воды, они распространены в различных интервалах глубин (от 15–20 до 200–250 м) в следующих морях: северной и восточной частях Баренцева, Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском, Чукотском, Бофорта, а также частично на материковом склоне и повсеместно в абиссальной части Арктического океана. Сплошность распространения многолетнеохлажденных осадков прерывается в местах достижения теплыми атлантическими и в меньшей степени тихоокеанскими водами морского дна – западная часть Баренцева моря, южная часть Чукотского моря, глубоководные впадины и желоба на шельфе и подводные хребты и материковый склон в глубоководной части океана.

Низкие, в основном отрицательные температуры водной среды и наличие плавучих льдов обусловливают яркую специфику процесса осадконакопления в пределах Арктического бассейна и своеобразие его донных осадков. Для них характерно низкое содержание или почти полное отсутствие основных породообразующих биогенных компонентов, т.е. карбонатов и кремнезема, в результате чего отложения полярных морей являются практически исключительно терригенными. Помимо этого им свойственны слабая степень сортированности, полифракционность состава, наличие в тонкодисперсных разностях крупнообломочных включений. Отдельные черты отложений – терригенный состав, плохая сортированность, каменные обломки, пестрота состава – могут быть свойственны бассейновым отложениям иных климатических зон, но вместе, в комплексе нигде больше не встречаются. Специфические черты осадконакопления в полярных морях и океанах и характерные признаки их отложений освещены достаточно детально в целом ряде публикаций [3, 5, 8, 11, 12, 14, 15 и др.]. Остановимся лишь на одном из этих признаков, наименее исследованном и известном.

Одним из важнейших компонентов отложений, формирующихся в условиях субаквальной криолитозоны, является новообразованный лед. Он либо рассеян в виде разобщенных мелких включений и прослоек, либо образует достаточно крупные скопления в виде залежей пластовой и линзовидной формы толщиной в несколько десятков и поперечником в несколько сотен метров. До настоящего времени преобла-

дающими являются представления, согласно которым формирование залежей, прослоек и включений льда в морских отложениях происходит после завершения процесса их накопления и выхода из-под уровня вод бассейна седиментации, т.е. в субаэральных условиях в результате эпигенетического промерзания сверху. Однако целый ряд фактов и наблюдений однозначно свидетельствует о том, что ледяные залежи и прослои возникали в субаквальных условиях в ходе накопления морских отложений [8, 10, 11], а не после завершения этого процесса.

Во многих случаях ледяные залежи обладают всеми признаками седиментационной породы: горизонтальной слоистостью, обусловленной чередованием прослоев относительно чистого и обогащенного терригенными частицами льда, наличием крупнообломочных включений и в то же время остатков фауны морских моллюсков и фораминифер, приуроченных к терригенным прослоям, согласными контактами с вмещающими морскими отложениями и т.д. В связи с таким строением и характером залегания была высказана гипотеза, согласно которой [8] они образованы в результате последовательного, поэтапного намерзания на морском дне и захоронения в дальнейшем в различной степени обогащенного терригенным материалом льда. Естественно, что необходимым условием проявления данного процесса является отрицательное поле температур, в котором осуществляется седиментогенез в целом. Одно из возможных дополнительных условий – понижение солености придонных вод при одновременном интенсивном их выхолаживании в мелководной зоне, когда температура становится ниже критической температуры замерзания раствора при данной его солености, например в связи с разгрузкой пресных подземных вод суши [10].

Наряду с горизонтальнослоистыми ледяными залежами в морских отложениях полярных водоемов отмечены залежи пликативно дислоцированного льда. Частично дислокации имеют вторичный характер и связаны с пластическими свойствами льда, проявляющимися под нагрузкой, но многие примеры по условиям залегания залежей свидетельствуют о том, что процесс дислоцирования осуществлялся в ходе накопления вмещающих их пород, т.е. дислокации имеют конседиментационный характер [10, 11]. В частности, показательно, что степень дислоцированности ледогрунтовых толщ постепенно уменьшается вверх по разрезу и они сменяются недислоцированными морскими отложениями – однозначное свидетельство проявления дислоцирования в процессе осадконакопления (рис. 5, а). Одной из возможных причин парагенетической взаимосвязи льдообразования и дислоцирования отложений в условиях морского дна является отжатие из них при этом слабосвязанной влаги, ее концентрация и переход в твердую фазу в ядрах складчатых структур при условии их нахождения в поле отрицательных температур [19], а также внедрение напорных пресных подземных вод суши в донные осадки (рис. 5, б).

Таким образом, наряду с ранее отмеченными особенностями состава терригенной составляющей отложений полярных морей их специфической компонентой является ледяная составляющая. Следует отметить вместе с тем, что основная часть морских отложений промерзает и переходит в твердомерзлое состояние после завершения осадконакопления и выхода их из-под уровня водоема седиментации. При этом происходит льдовыделение, формируются характерные криогенные текстуры и залежи монолитного льда, меняется исходный химический состав иловых вод, захороненных в осадках: как правило, имеет место распреснение верхних, льдонасыщенных горизонтов и криогенное концентрирование солей в нижних солях отрицательнотемпературных толщ.

Все вышеизложенное позволяет сделать общий вывод, состоящий в том, что Арктический бассейн представляет собой особую природную экосистему, главное своеобразие которой определяется низкими (преимущественно отрицательными) температурами среды и наличием ледовой компоненты как на водной поверхности, так и в донных грунтах. Последние находятся главным образом в поле отрицательных температур в переохлажденном (засоленном, текучем) состоянии или являются твердомерзлыми (реликтовые и новообразованные многолетнемерзлые породы). Условия

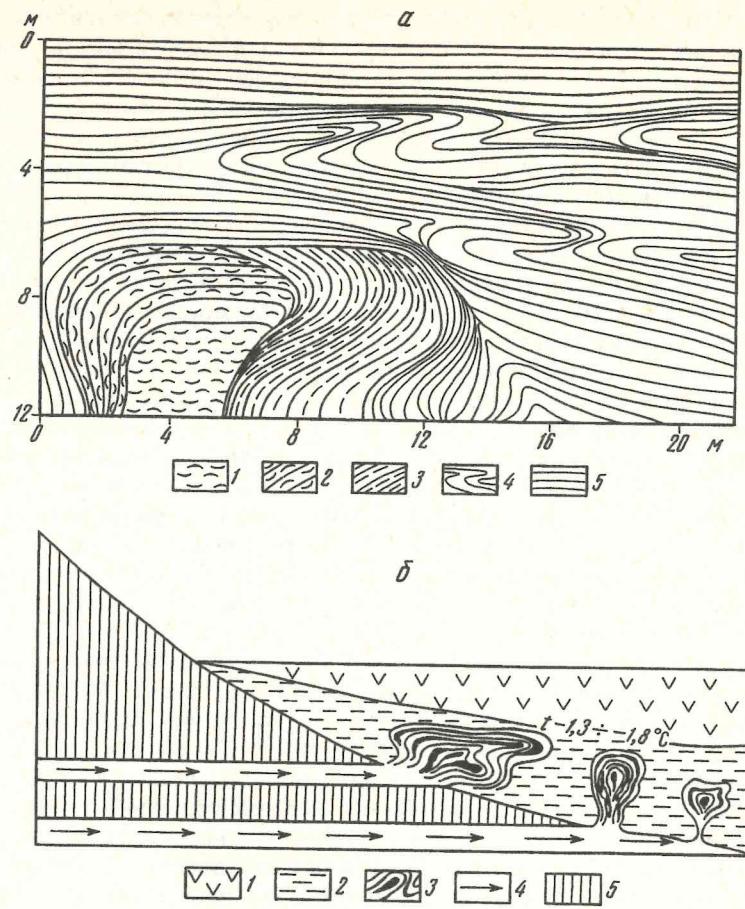


Рис. 5. Условия залегания залежи дислоцированных подземных льдов в слоистых прибрежно-морских алевритах (а) и возможная схема их формирования в местах разгрузки в прибрежной зоне моря напорных пресных подземных вод суши (б) (по [10])

а: 1 – лед прозрачный, стекловидный ("чистый"), 2 – лед, обогащенный обломочным материалом ("грязный"), 3 – ледогрунт (лед, очень сильно обогащенный обломочным материалом – до 50% объема), 4 – ленточно-слоистые прибрежно-морские алевриты, пликативно дислоцированные, 5 – аналогичные по составу и строению алевриты с недеформированной первично-седиментационной слоистостью; б: 1, 2 – отрицательнотемпературные (1 – морские воды, 2 – придонные грунты), 3 – структуры, образованные деформированными осадками и льдом, 4 – подземные воды суши, 5 – литифицированные горные породы

существования, типы и строение мерзлых толщ могут быть достоверно диагностированы лишь при комплексном подходе к изучению природной системы Арктического бассейна.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 96-05-65854.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антонов В.С. Роль материевого стока в режиме течений Северного Ледовитого океана // Пробл. Севера. 1958. Вып. 1. С. 52–64.
- Атлас океанов. Т. 3. Северный Ледовитый океан. Л.: Изд. ВМФ СССР, 1980. 189 с.
- Белов Н.А., Лапина Н.Н. Донные отложения Арктического бассейна. Л.: Мор. транспорт, 1961. 150 с.
- Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 351 с.
- Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 9. Моря Советской Арктики. Л.: Недра, 1984. 280 с.
- Гляциологический словарь // Под ред. В.М. Котлякова. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 527 с.
- Григорьев Н.Ф. Криолитозона прибрежной части Западного Ямала. Якутск: ИМСО АН СССР, 1987. 112 с.
- Данилов И.Д. Полярный литогенез. М.: Недра, 1978. 238 с.
- Данилов И.Д. Развитие континентальной окраины северной Евразии в позднем кайнозое // Геология и геоморфология шельфов и материковых склонов. М.: Наука, 1985. С. 48–57.
- Данилов И.Д. Ледяные залежи в толщах ледово-морских осадков как продукт криогенного диагенеза // Докл. АН СССР. 1989. Т. 306. № 5. С. 1201–1203.
- Данилов И.Д. Осадочное порообразование в условиях субмаринной криолитозоны // Литол. и полез. ископаемые. 1991. № 4. С. 51–65.
- Данилов И.Д., Жигарев Л.А. Некоторые аспекты морской криологии арктической лitorально-шельфовой зоны // Географические проблемы изучения Севера. М.: Изд-во МГУ, 1978. С. 115–135.
- Жигарев Л.А. Инженерно-геологические исследования океанической криолитозоны // Инженерная геология. 1989. № 5. С. 51–59.
- Кларк Д.Л., Morris T.G. Типы кайнозойского осадконакопления в связи с историей развития Северного Ледовитого океана: район Канадского бассейна и Альфа-Чукотского хребта до хребта Ломоносова // Докл. 27-го Междунар. геол. конгр. К. 04. Т. 4. Геология Арктики. М.: Наука, 1984. С. 146–150.
- Куликов Н.Н. Осадкообразование в Карском море // Современные осадки морей и океанов. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 437–447.
- Ласточкин А.Н. Методика морского геоморфологического картирования. Л.: Недра, 1982. 272 с.
- Молочушкин Е.Н. Мерзлотно-геологические исследования юго-восточной окраины шельфа моря Лаптевых // Проблемы геологии шельфа. М.: Наука, 1975. С. 87–91.
- Полякова Е.И. Диатомовый анализ в стратиграфических и палеогеографических исследованиях океанов и морей // Палеоботанические методы в изучении палеогеографии плейстоцена. Итоги науки и техники. Сер. палеогеография. М.: ВИНТИИ, 1991. С. 127–154.
- Попов А.И. О субмаринном типе криодиагенеза // Инж. геология. 1991. № 6. С. 49–55.
- Редозубов Д.В. Геотермический метод исследования толщ мерзлых пород. М.: Наука, 1966. С. 37–45.
- Северный Ледовитый океан. Серия "География Мирового океана". Л.: Наука, 1985. 501 с.
- Соловьев В.А. Криолитозона шельфа и этапы ее развития // Основные проблемы палеогеографии позднего кайнозоя Арктики. Л.: Недра, 1983. С. 185–192.
- Хопкинс Д.М. История уровня моря в Берингии за последние 250 000 лет // Берингия в кайнозое. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 9–27.

Поступила в редакцию
11.VI.1996

УДК 551-556.3.01→556.382.

© 1997 г. В.С. КОВАЛЕВСКИЙ, С.М. СЕМЕНОВ, Ю.В. КОВАЛЕВСКИЙ

ВОЗДЕЙСТВИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ И ВЗАИМОСВЯЗАННУЮ С НИМИ ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Прогнозируемые климатологами всего мира изменения: глобальных температур воздуха и количественных характеристик атмосферных осадков, испарения и испаряемости, не может не отразиться на состоянии гидросфера в целом, включая подземные воды, а также на взаимосвязанной с ними окружающей геологической среде и социальных условиях. Данное обстоятельство обязывает тщательно изучать и прогнозировать эти изменения. Важно определить концептуально их возможную направленность и реальность этой проблемы и как относиться к составляемым прогнозам и как их оценивать.

Проблема изменений климата и их возможных последствий на Земле, несмотря на ее очевидную практическую значимость, все еще весьма дискуссионна и неоднозначна. Связано это, прежде всего, с отсутствием убедительных, очевидных доказательств и представлений о генетических причинах, управляющих этим процессом, а также о малой заметности происходящих изменений. Так, среди факторов, способных и реально воздействующих на климат, отмечают следующие: изменения солнечной радиации, орбитальных параметров Земли, тектонических движений, меняющих соотношение площадей водной поверхности Земли и суши, газового состава атмосферы и, прежде всего, концентрации парниковых газов – углекислоты и метана, прозрачности атмосферы, изменяющей альbedo Земли за счет извержений вулканов. Достоверность прогнозов зависит от того, в какой мере прогностическая модель адекватна прогнозируемому процессу и соотносится с реальными факторами, управляющими им. Дискуссионен и вопрос, в какой мере этот процесс зависит от техногенных или естественных природных факторов. Следует отметить, что изменения климата происходили в течение всей геологически документированной истории Земли. Наибольшего размаха они достигали в верхнем плиоцене и плейстоцене, когда миллионы квадратных километров суши покрывались ледниками. Периодические наступления и отступления покровных льдов неоднократно перестраивали гидрографическую сеть на большей части Северного полушария Земли, включая территорию России, изменения одновременно условия дренированности и интенсивности водообмена подземных вод. Накопление ледниковых масс приводило к сокращению речного стока и врезанию речных долин, так как эрозионные процессы в это время преобладали над аккумуляцией, а их таяние в межледниковые периоды – к резкому возрастанию стока, смыву ледниковых образований и заполнению долин флювиогляциальными и аллювиальными отложениями. О масштабе этих колебаний можно судить по глубинам эрозионного врезания речных долин и уровням террас. Так, размах колебаний базиса дренирования подземных вод в бассейне р. Камы за период с плиоцена до голоцена включительно достигал свыше 300 м (рис. 1).

Менее резкие, но также относительно периодические изменения климата отмечались и в голоцене [12]. Палинологические, изотопные, гляциологические и палеогеоморфологические исследования позволили восстановить возможные изменения температур, атмосферных осадков, уровней озер и общей увлажненности различных частей

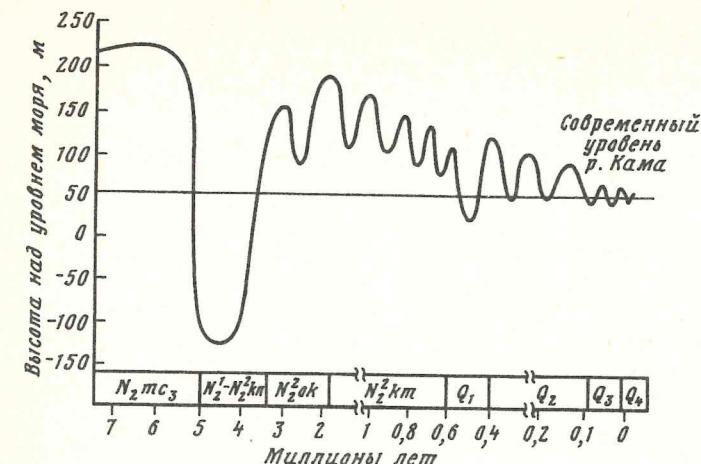


Рис. 1. Изменения базиса дренирования подземных вод в Среднем Прикамье с плиоцена по настоящее время

территории России и бывшего СССР в голоцене [3, 8, 9 и др.] и таким образом реконструировать палеоклимат за этот период.

Здесь следует подчеркнуть, что все эти изменения происходили при отсутствии каких-либо техногенных воздействий на климат и в масштабах более значительных, чем наблюдаемые в настоящее время. Например, изменения в концентрациях углекислоты в атмосфере до появления человека были даже в 5–6 раз больше, отмечаемых в настоящее время.

Для всех палеореконструкций отмечались некоторые общие закономерности или тенденции, которые учитываются в современных прогнозах климатических изменений. В том числе:

1. При общем глобальном потеплении климата наиболее заметно оно проявлялось в высоких широтах и было малозаметным в низких, причем более четко в зимнее время и менее резко в летнее.
2. При потеплении климата, как правило, отмечался рост атмосферных осадков на севере и их сокращение на юге.
3. Потепление климата совпадало с ростом концентраций парниковых газов (CO_2 и CH_4) в атмосфере.
4. Потепления вызывали рост уровней внутренних водоемов, морей, океанов и речного стока, а похолодание – их снижение. В этой связи общий нисходящий тренд, представленного на рис. 1 графика, может свидетельствовать о глобальной в геологическом масштабе времени тенденции к похолоданию, на фоне которой могут отмечаться временные периоды потеплений, наблюдаемые, в частности, в настоящее время.

Климатические изменения на территории России с подобными закономерностями зафиксированы и современными стационарными инструментальными измерениями. На фоне общего похолодания последнего тысячелетия в его последние 100–150 лет вновь проявились все признаки глобального потепления. В том числе оно отмечено в тренде температур воздуха, на фоне которого наблюдались отдельные более резкие потепления 30-х – 70-х годов текущего столетия, в трендах атмосферных осадков, в уровнях океана и содержании углекислоты в атмосфере (рис. 2). С 60-х годов текущего столетия, когда резко изменилась скорость нарастания концентраций углекислоты в атмосфере, наметились тренды и в расходах рек, подземном стоке, дебитах источников и уровнях грунтовых вод. Так, положительные тренды в зимних меженных расходах рек, определяемых главным образом разгрузкой подземных вод, были зафик-

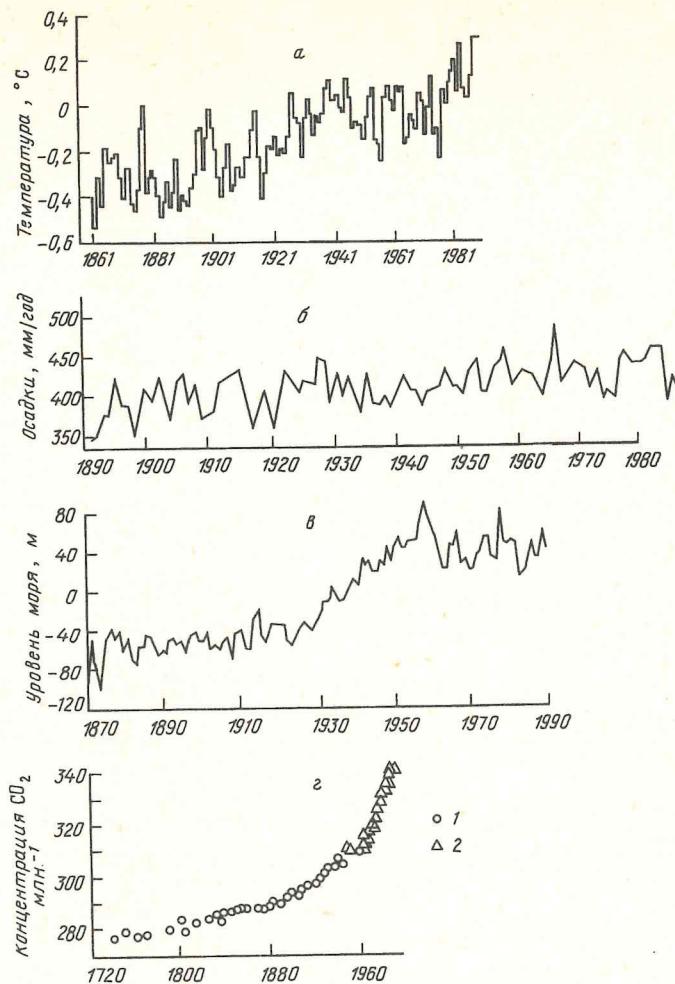


Рис. 2. Изменения средних глобальных температур воздуха (а), средних годовых атмосферных осадков на территории бывшего СССР [1] (б); уровня океана [3] (в) и концентраций углекислоты в атмосфере [14] (г); Изменения CO_2 до 1960 г. получены по кернам льда в Антарктиде, а затем по наблюдениям на Гавайях (г)

сированы на большей части малых и средних водосборных бассейнов в области питания Волги. При этом по ряду из них такая тенденция отмечается уже в течение нескольких десятилетий, по другим – лишь в последние годы (рис. 3).

Кстати, имеются отдельные водосборы, где какие-либо тренды отсутствуют.

Коэффициенты корреляции зависимости значений подземного стока от времени в некоторых случаях достигают 0,6–0,8, что свидетельствует о их статистической значимости. Положительные тренды вскрыты практически во всех водосборах Московской области, где имеются продолжительные ряды наблюдений. Скорость увеличения подземного стока (градиент тренда) изменяется от 0,01 до 0,24 $\text{l}/\text{s} \cdot \text{km}^2$ в год при наиболее часто встречающихся значениях 0,05 $\text{l}/\text{s} \cdot \text{km}^2$ в год.

Сопоставительный анализ тенденций в многолетней изменчивости основных измеряемых компонентов водного баланса был осуществлен также по ряду карстовых районов Русской платформы – Ижорскому плато, Уфимскому плато, Средне-Русской возвышенности; Западной Украине, Горному Крыму и Западному Кавказу. По всем этим районам, кроме Крыма, были отмечены положительные тренды одновременно в

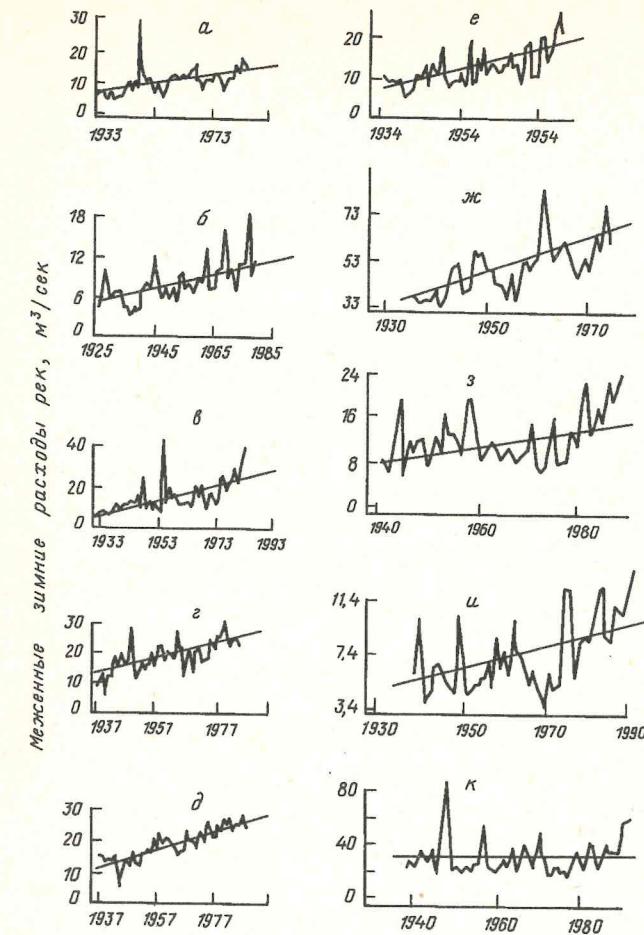


Рис. 3. Многолетняя изменчивость меженинных зимних расходов рек (подземного стока) по ряду малых водосборов бассейна р. Волга: а – р. Самара, пост Елцинка; б – р. Быстрица, пост Шепицино; в – р. Цна, пост Княжево; г – р. Сура, пост Пенза; д – р. Клязьма, пост Павловский Посад; е – р. Мокша, пост Темников; ж – р. Сылва, пост Подкаменное; з – р. Кострома, пост Буй; и – р. Протва, пост Спасс-Загорье; к – р. Уфа, пост Таверков

атмосферных осадках, годовом поверхностном и подземном стоке (рис. 4). Лишь в Крыму преобладали отрицательные тренды в атмосферных осадках, поверхностном стоке и большинстве дебитов родников (в 38 из 52). Такая тенденция согласуется с общей закономерностью изменений палеоклимата. Интересно отметить, что положительные тренды в поверхностном и меженном подземном стоке наблюдаются даже в Центральной части Московской области, т.е. там, где идет интенсивная (до 10 m^3/s) эксплуатация напорных вод. Вызванное этой эксплуатацией снижение пьезометрических уровней в каменноугольных водоносных горизонтах и постоянное развитие воронки депрессии не оказывается на подъеме уровней грунтовых вод и увеличении поверхностного стока, возможно лишь замедляя этот процесс, что определяется соответствующим ростом атмосферных осадков в данном районе (рис. 5).

Все эти примеры могут интерпретироваться и часто объясняются по разному. Можно, например, считать эти малые изменения практически несущественными, находящимися в пределах общей многолетней дисперсии рассматриваемых процессов, то есть просто случайными, а визуально просматривающиеся тренды – близкими к ста-

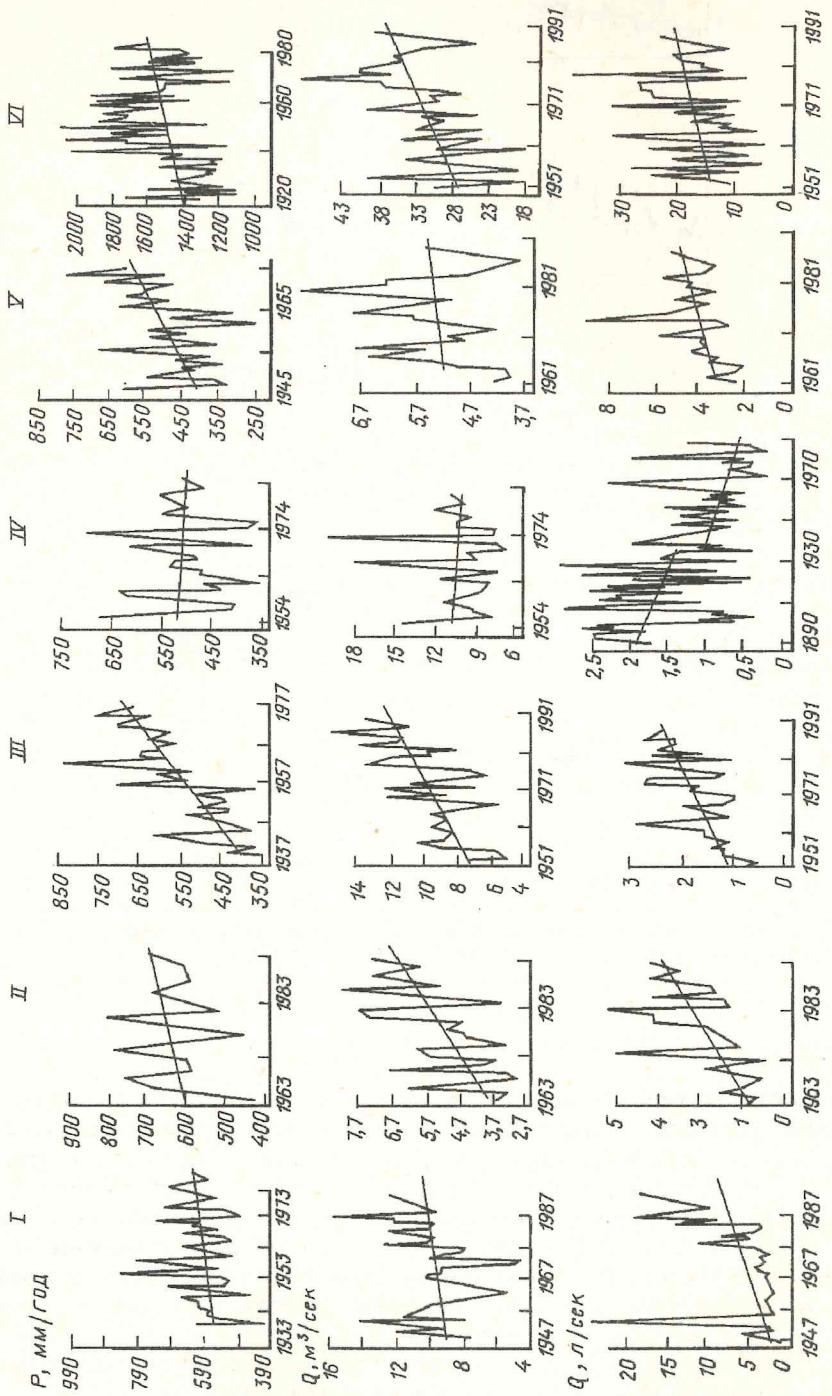


Рис. 4. Графики режима атмосферных осадков (а), речного стока (б) и подземного стока (в) в некоторых карстовых районах бывшего СССР: Ижорское плато (I), Уфимское плато (II), Приокская возвышенность (III); Горный Крым (IV); Западная Украина (V); Западный Кавказ (VI).

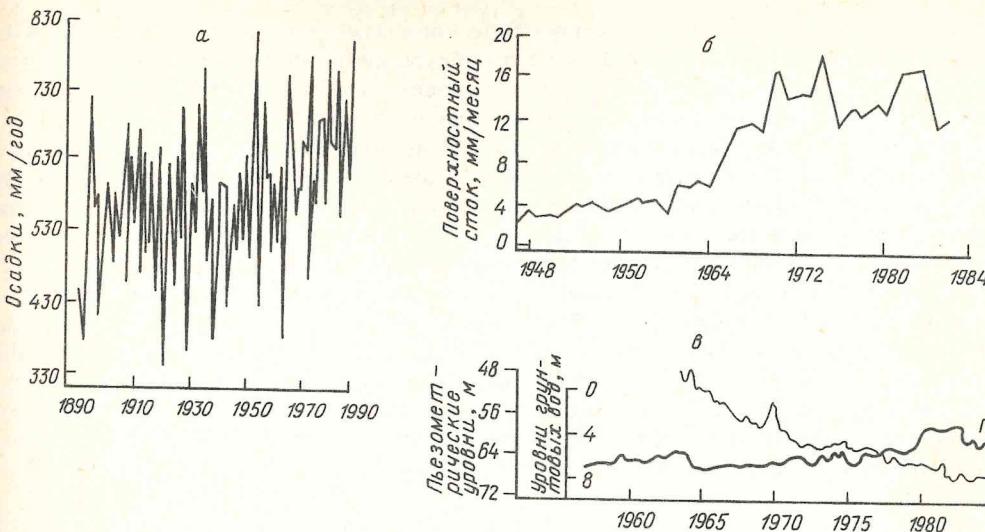


Рис. 5. График режима атмосферных осадков в Москве (а), поверхностного стока (б) и уровней грунтовых (в) и напорных (г) вод в бассейне р. Медвенке

тистически незначимым, что часто так и есть. Можно также охарактеризовать эти изменения как восходящие ветви длиннопериодной изменчивости, при которой после определенного периода времени, достигнув максимума, последует нисходящая ветвь цикла, т.е. опять же рассматривать процесс колебаний климатических и водобалансовых характеристик стационарным относительно какой-то их среднемноголетней нормы.

Однако, принимая во внимание, что синхронные тренды в атмосферных осадках, поверхностном и подземном стоке, уровнях грунтовых вод и дебитах источников прослеживаются на огромных пространствах практически всей Русской платформы и согласуются с ростом концентраций углекислоты в атмосфере, что отвечает установленным закономерностям при палеореконструкциях климата, можно, все-таки, заключить, что климатические изменения начались и этот процесс можно считать реальным. Поэтому важно рассмотреть, как он скажется на водных ресурсах, окружающей среде и социальных условиях.

В связи с недостаточной изученностью отмеченных выше причинно-следственных связей между климатом и формирующими его факторами, на сегодня нет общеизвестного и достаточно обоснованного сценария изменений климата. Большая часть таких сценариев базируется на экстраполяции во времени зафиксированных изменений концентраций углекислоты в атмосфере, на установленных по палеореконструкциям (по содержанию парниковых газов в пузырьках воздуха во льдах Антарктиды и др.) взаимосвязях содержания углекислоты и изменений глобальных температур воздуха, а также на установленных эмпирически и на различных моделях взаимосвязи изменений температур воздуха, распределения осадков и испарения на Земном шаре [1, 3, 8, 14, 15].

В какой мере допустимы подобные экстраполяции – сказать трудно. Тезис "прошлое – ключ к будущему" уязвим, так как известно, что история не повторяется и природные процессы развиваются в лучшем случае по спирали, но чаще по иным путям, определяемым часто случайным сочетанием различных факторов, чем и объясняется тщетность попыток вскрыть какие-либо закономерные природные циклические, способные стать основой достоверных прогнозов.

Поэтому строить на такой базе какие-либо количественные и, тем более, временные прогнозы невозможно. Реальными в таких условиях представляются вариантные расчеты при допущении различных возможных повышений глобальных температур

воздуха, не привязывая строго к каким-либо конкретным срокам или определяя их весьма условно. В том числе и гидрогеологические прогнозы-расчеты должны быть также вариантными при допущении или условии, что реализуется тот или иной климатологический прогноз или сценарий изменения климата.

Однако, и такие прогнозные оценки, способные показать лишь основную направленность и примерные масштабы развития прогнозируемых процессов, представляют несомненный практический интерес. Рассмотрение же возможных путей решения данной проблемы в методическом плане представляет научный интерес, вполне оправдывающий уделяемое данной проблеме внимание.

Базируясь на выполненных палеореконструкциях климата [1, 8, 15 и др.], повышение глобальных температур на 1°C по отношению к среднемноголетней температуре (обычно за период 1881–1987 гг.) сопоставляется с климатом оптимума голоцена (5–6 тыс. лет назад), на 2°C – с оптимумом плейстоцена, микулинским или земским межледниковьем, т.е. 120–130 тыс. лет назад, и на 3–3,5°C – с плиоценовым оптимумом, т.е. 4,3–3,3 млн. лет назад. Первый этап изменений климата (1°C) условно ожидается примерно в 2000–2010 гг., второй (2°C) – в 2025–2030 гг. и третий (3–4°C) – после 2050 г.

При глобальном потеплении на 1°C на территории России ожидается увеличение зимних и летних температур на севере на 2–4°C, в средних широтах и на юге – на 0,5–1,5°C. Количество осадков на севере возрастет на 50–100 мм, а на остальной территории сохранится близким к современному и лишь на юге несколько уменьшится до 25–50 мм/год. Учитывая то, что за прошедшее столетие глобальные температуры возросли примерно на 0,8°C, можно предположить, что современный климат уже близок таковому, который наблюдался в оптимуме голоцена.

Оценка оправдываемости климатических прогнозов не входит в компетенцию авторов и требует анализа многокомпонентных данных. Тем не менее, по имеющимся у нас отдельным климатическим характеристикам, можно заключить, что наблюдаемые в них тенденции в целом соответствуют прогнозируемым климатологами. Так, по северу Московской области ежегодный средний темп прироста атмосферных осадков за последние 15 лет (по тренду) составил 4,65 мм/год, что в сумме даст около 70 мм. По прогнозам же ГГИ [1] к 2020 г. количество атмосферных осадков должно возрасти в этом районе на 230 мм/год, а с момента выдачи прогнозов (1978 г.) по настоящее время – примерно на 70–80 мм, что неплохо увязывается с наблюдаемыми данными.

Более существенными ожидаются климатические изменения при удвоении содержания углекислоты в атмосфере, ожидаемое после 2025 г. Так, по прогнозам М.И. Будыко и др. [1, 8] при глобальном повышении среднегодовых температур на 3–3,5°C температура в Арктическом бассейне может возрасти на 12–15°C в июле и на 15–20°C в январе. В средних широтах России она будет выше современной на 2–5°C в июле и на 10–15°C в январе. Нулевая изотерма января сместится на 10–15° к северу. Количество атмосферных осадков в северной половине страны возрастет на 200–600 мм/год, а в южной на 50–200 мм/год. Одновременно возрастут испарение и испаряемость. Разность между осадками и испаряемостью в высоких широтах будет положительной, а в южной отрицательной (рис. 6), что увеличит степень переувлажнения (гумидизацию) первой и иссушение (аридизацию) второй. Приращения эффективных осадков, определяющих поверхностный сток и питание подземных вод, также будут существенно варьировать – от 200–300 мм/год на севере до 0–50 мм/год на юге страны. Как перераспределятся эти осадки между поверхностным и подземным стоком, как изменятся ресурсы подземных вод, являющихся главным и наиболее качественным источником водоснабжения населения, прежде всего городов, как изменятся уровни грунтовых вод и их режим, от чего зависит во многом экологическая обстановка и условия жизнеобитания людей, – вопросы, представляющие очевидный практический интерес.

Подобные прогнозные оценки могут осуществляться в зависимости от задач исследований различными методами и, следовательно, с различной детальностью. Для полу-

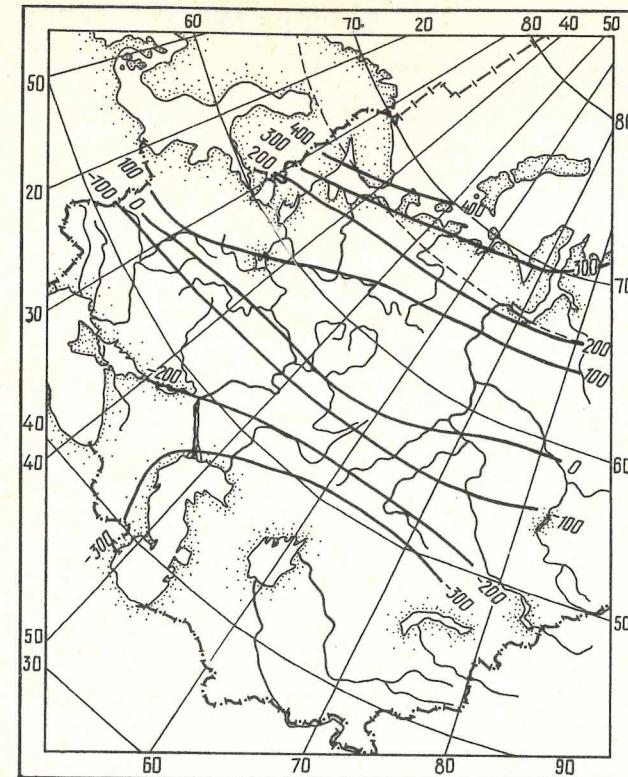


Рис. 6. Схематическая карта распределения разности прогнозных осадков и испаряемости, мм/год

чения представлений об общей направленности процесса и его масштабе оценки возможной изменчивости ресурсов подземных вод в региональном плане, могут строиться на установленных статистических зависимостях доли участия атмосферных осадков в питании подземных вод от количества осадков, или зависимостей среднегодовых и межненных коэффициентов подземного стока от степени водности года. Прогнозируемые оценки возможной изменчивости ресурсов подземных вод или подземного стока в пределах отдельных водосборов могут выполняться методами множественной корреляции, весовых функций или с использованием моделей с сосредоточенными параметрами. В этом случае в расчетах представляется возможным учесть изменения температур воздуха, осадков, испарения, запасов подземных вод или уровней грунтовых вод на водосборе, а также учесть инерционность водоносных систем в их реакции на внешние воздействия. На локальных участках (в пределах водосборов, мелиоративных систем, урбанизированных территориях и т.п.) прогнозы могут осуществляться на основе гидродинамических моделей с рассредоточенными параметрами с учетом конкретных техногенных и природных воздействий на подземные воды. Методические аспекты таких прогнозов в наименее общем виде довольно хорошо освещены в многочисленных публикациях [2, 4, 6, 10, 11]. Развитие же этих методов применительно к решаемой задаче с учетом ограниченной исходной информации о предикторах требует самостоятельного рассмотрения.

Для получения первых региональных представлений о влиянии предстоящих изменений климата на подземные воды и взаимосвязанную с ними окружающую среду авторами были осуществлены некоторые из таких прогнозных оценок. В их основу были положены прогнозные сценарии климата, разработанные в ГГИ [1].

Таблица I

Результаты прогнозов вероятной изменчивости среднегодовых и меженных расходов карстовых вод по ряду водосборов при удвоении содержания углекислоты в атмосфере

№ № п/п	Карстовый район	Водосборы рек	Современные модули стока, л/с · км ²		Прогнозные модули стока, % от современных среднемноголет- них	
			среднегодовые	меженные	среднегодовые (от-до)/сред- нее	меженные (от- до)/среднее
1	Ижорское пла- то	р. Плюсса р. Ящура	6,63 8,41	2,0 1,95	+ (25–30)	+100
2	Приокская возвышен- ность	р. Таруса	5,27	1,49	+10	+17
3	Уфимское пла- то	р. Уфа р. Богулка	6,62 8,83	1,52 1,60	+ (2–5)	+ (6–7)
4	Западная Ук- раина	р. Гнилая р. Смотрик р. Гнезна р. Серет р. Зап. Буг	3,47 3,56 3,54 5,48 11,8	2,78 1,98 2,58 3,89 4,44	+ (6)–(+18) +12	+ (11)–(+25) +16
5	Горный Крым	р. Уган-Су р. Бельбек р. Коккозка	16,1 10,0 12,5	2,9 1,77 1,04	+ (9)–(+20) +14	+ (15)–(+35) +21
6	Западный Кав- каз	р. Сочи р. Мzymта р. Гумиста р. Чхалта р. Гвандра	64,9 63,7 56,65 84,19 64,91	23,8 27,4 27,8 21,5 23,82	+ (3)–(+6) +5	+ (10)–(+25) +17

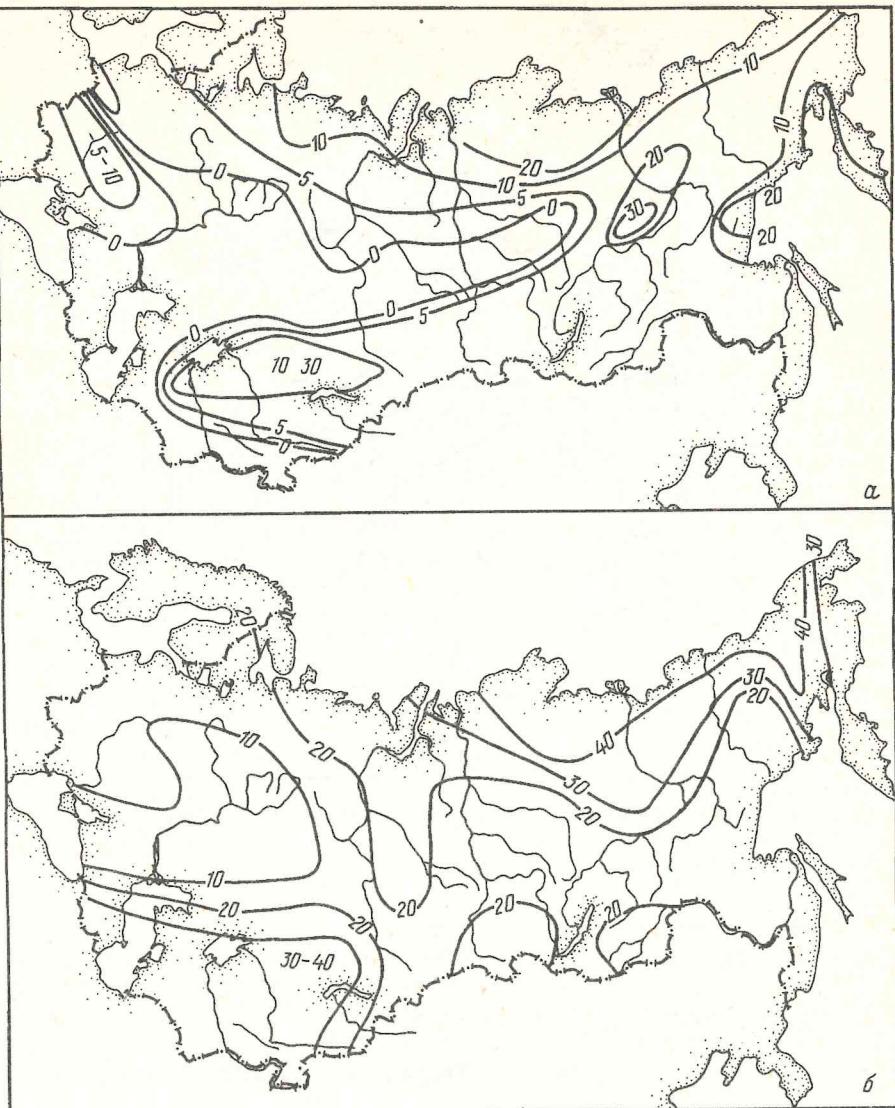


Рис. 7. Схематическая карта прогнозной изменчивости ресурсов подземных вод на территории бывшего СССР, в процентах от среднемноголетней нормы на периоды 2005–2010 гг. (а) и после 2025 г. (б)

Прогноз и построение прогнозной карты изменений ресурсов подземных вод для России в целом осуществлен по зависимостям коэффициентов подземного стока от степени водности года. Этот прогноз показал, что при глобальном потеплении на 1°C (в начале следующего столетия) каких-либо существенных изменений в питании подземных вод по сравнению с современными условиями не произойдет. На большей части страны эти изменения не превысят ±5–10% и лишь на части территории Восточной Сибири они могут достичь +20–30% от современной нормы ресурсов подземных вод (рис. 7, а). Однако уже к этому периоду проявится тенденция к увеличению подземного стока на севере и его уменьшение на юге и юго-западе, что хорошо соглашается с современными тенденциями, отмечаемыми по продолжительным рядам наблюдений (см. рис. 4).

При удвоении содержания углекислоты в атмосфере как показывают расчеты на всей территории бывшего СССР, можно ожидать увеличение ресурсов подземных вод в среднем на 20–30% по сравнению с современными среднемноголетними нормами. При этом наиболее существенными (до 40%) эти изменения будут на арктическом побережье Сибири и в Средней Азии (см. рис. 7, б).

Прогнозы на корреляционной основе и моделях с сосредоточенными параметрами проводились по шести карстовым районам Европейской территории бывшего СССР и ряду водосборов в бассейне р. Волги. Выбор этих районов для анализа определен тем, что карстовые воды наиболее чувствительны к климатическим изменениям, а в бассейне р. Волги, где проживает около 50% населения России, представляет наибольший практический интерес.

Прогнозные оценки по карстовым районам подтвердили тенденцию общего увеличения среднегодовых величин ресурсов подземных вод в пределах от 2–5 до 25–30% от современных норм при удвоении содержания углекислоты в атмосфере (табл. 1). Наибольшие значения приращений ресурсов будут отмечаться в приморских районах (Ижорское плато, Крым). Было также установлено, что наибольшим изменениям по сравнению со среднегодовыми подвернутся меженные расходы подземного стока, которые возрастут часто до 25–35%, а на Ижорском плато даже удвоются. Это свидетельствует о неизбежном изменении внутригодового режима подземных вод и необходимости разработки методов его прогноза. Одним из таких методов может быть построение вероятностных графиков-диаграмм среднемесячных значений дебитов источников или уровней подземных вод различной обеспеченности, которые могут дать

Прогнозные изменения в поверхностных и подземных водах в бассейне
р. Волга

Водосбор	Прогнозное увеличение эффективных осадков, мм/год	Приращение поверхностно- го стока, мм	Приращение рабочего объема подземных вод		Прогнозное изменение уровней грунтовых вод, мм	
			мм	%	в песках	в суглинках
р. Вятка	70	45,4	24,6	35	24,6	49,2
р. Ветлуга	60	43,0	17	28	17	34
р. Сура	20	9,7	10,3	51	10,3	20,6
р. Самара	18	2,4	15,6	8,6	15,6	31,2
р. Ока	15	5,8	9,2	61	9,2	18,4
Волга (верх- ховье)	50	24,5	25,5	51	25,5	51
р. Белая	35	7,5	27,5	78	27,5	55
р. Кама (верховье)	70	14,9	55,1	79	55,1	110

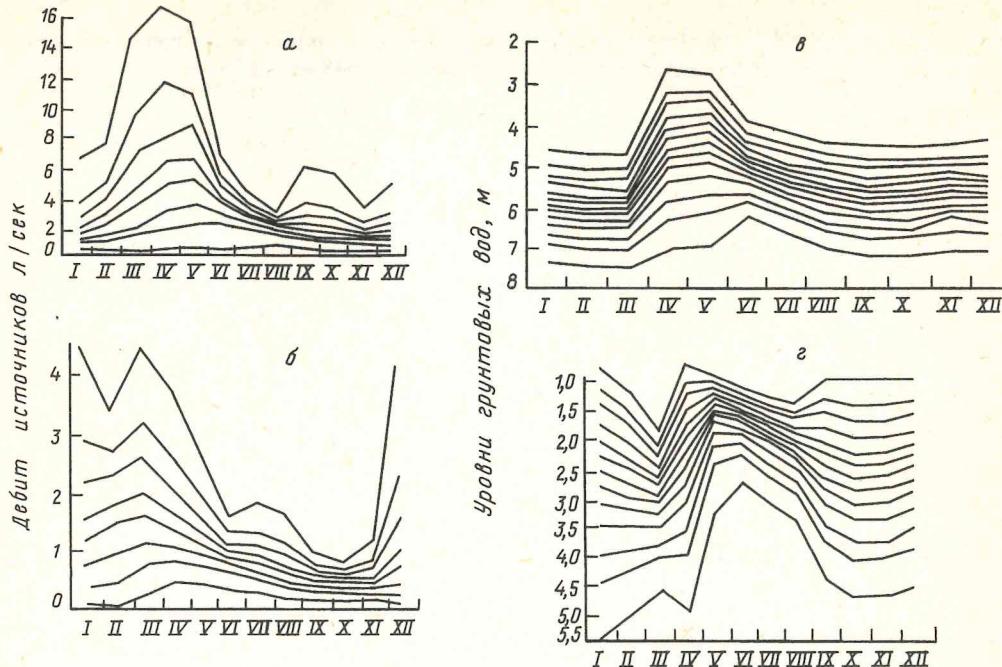


Рис. 8. Графики зависимости дебитов источников № 474 и № 485 (Крым) (а, б) и уровней грунтовых вод по скв. 1043 (Ижорское плато) и скв. 270 (Уфимское плато) (в, г) в годы различной водности, выраженной в процентах обеспеченности

представление о возможной изменчивости внутригодового режима подземных вод в годы различной водности (рис. 8). При этом в зависимости от характера закона распределения уровней и расходов подземных вод их изменение, например, на +10% от абсолютной величины среднемноголетней нормы (или 50%-ной обеспеченности), может соответствовать степени водности 40%-ной, 30%-ной и даже 25%-ной обеспеченности. Другими словами, в каждом конкретном случае для каждого прогнозного абсолютного значения изменений питания подземных вод можно найти график внутригодового режима, соответствующего степени водности такого же года в прошлом. При этом, как видно из рис. 8, при изменении степени увлажненности территории могут измениться сроки наступления экстремальных положений уровней и расходов подземных вод, продолжительности маловодных и многоводных периодов внутри года, амплитуды колебаний уровней и расходов подземных вод, а следовательно и их водный и солевой баланс, что может оказаться на экологической обстановке в регионе.

Прогноз изменений в поверхностных и подземных водах в бассейне р. Волги осуществлялся для 8 водосборных бассейнов, расположенных в различных геологических и климатических условиях (табл. 2). Использование модели со сосредоточенными параметрами позволило установить, что далеко не все прогнозные эффективные осадки, определяемые как разность между прогнозными осадками и прогнозным испарением, будут прямо расходоваться на поверхностный сток. Значительная их часть (от 28 до 80%), особенно на первом нестационарном этапе, пойдет на накопление запасов подземных вод, что приведет к подъему среднемноголетних уровней грунтовых вод от 10 до 50 см в песках и от 20 см до 1,1 м в супесчано-суглинистых отложениях, слагающих современную зону аэрации в бассейне р. Волги.

Прогнозируемые изменения в режиме и ресурсах подземных вод неизбежно скажутся на состоянии окружающей среды. При этом изменения будут как положительными, с позиции жизнедеятельности людей, т.е. социальной экологии, так и нега-

тивными. Так, повышение содержания углекислоты в атмосфере будет способствовать повышению урожайности сельскохозяйственных культур (по некоторым оценкам до 20%). Потепление сдвинет на 5–7° по широте на север зоны устойчивого ведения земледелия, увеличив тем самым площади продуктивных земель в России. Одновременно сместятся на север и границы орошаемой зоны. Ожидается сокращение площадей развития многолетнемерзлых пород до 30–40% с увеличением тем самым резервных земель для земледелия и животноводства. Затраты энергии на отопление сократятся, что очень важно для России. Увеличение поверхностного и подземного стока приведет к росту меженных расходов рек, что улучшит условия судоходства и выработки энергии на малых реках. Повысится гарантированность водоснабжения населения в маловодные периоды. Все это будет способствовать миграции населения на север. В настоящее время основная часть мигрантов пока оседает в южных районах страны и в больших городах.

Одновременно увеличение питания подземных вод и подъемы уровней грунтовых вод даже на небольшие величины вызовет в северных районах подтопление городов, переувлажнение и заболачивание земель, активизацию некоторых геодинамических процессов (оползни, оплывины, просадки, солифлюкция, карст), оглеение, гидратацию и снижение продуктивности почв, снижение продуктивности наземных экосистем на участках переувлажнения, включая сельскохозяйственные культуры и леса, снижение несущей способности грунтов, снижение степени защищенности грунтовых вод от загрязнения, ухудшение медико-биологической обстановки и др. Развитию таких негативных процессов будет способствовать характерное для северных районов России неглубокое залегание грунтовых вод. Увеличение зимних осадков и сдвиг паводков на более ранние сроки приведет к увеличению частоты наводнений, зон подпора грунтовых вод и их воздействий на оползнеобразование и другие процессы.

В южных районах страны, где на первом этапе климатических изменений, прогнозируется уменьшение питания подземных вод, наоборот, следует ожидать снижения меженных расходов рек, ухудшение условий водоснабжения населения, переосушение земель, рост вероятной частоты появления засух до 20–40%, развитие процессов опустынивания территорий, сокращение ресурсов почвенных вод до 10–20% и поэтому рост потребности в ирригационных водах на 5–10%, увеличение площадей с засолением почв.

Потепление, как известно, вызовет таяние материковых льдов, и прежде всего льдов Антарктиды, что может по некоторым оценкам привести к подъему уровня океана до 5 м. Это явится причиной не только непосредственного затопления отдельных частей ряда городов (Санкт-Петербурга, Архангельска и др.), но и вызовет подпор и подтопление грунтовыми водами огромных площадей приморских территорий, намного превышающих площади собственного затопления. Этот процесс и его последствия количественно еще не оценивались.

Прогнозы всех этих последствий возможны на базе детальных исследований соответствующих процессов и их взаимосвязей с подземными водами и гидрометеорологическими факторами с использованием гидродинамических моделей по конкретным объектам и требуют особого рассмотрения.

Заключение

Следует еще раз подчеркнуть, что все прогнозируемые вышеперечисленные изменения в подземных водах и взаимосвязанной с ними среде могут осуществиться лишь в случае, если реализуется сценарий изменения климата. Заложенные же в его основу предпосылки (и в первую очередь экстраполируемые концентрации углекислоты в атмосфере, температуры воздуха, уровня океана и др.) могут в будущем измениться под влиянием как природных, так и техногенных факторов. К таковым могут быть отнесены активизация вулканической деятельности, рост облачности и соответственно альbedo Земли, снижение потребления энергии и производства парниковых газов и др. Тем не менее изучение данной проблемы в методическом и практическом аспекте важно, т.к. лучше быть готовым к изменениям, которые не реализуются или реализуются не в полной мере, чем оказаться к ним неготовыми, когда их негативные последствия проявятся и приведут к реальному ущербу жизнедеятельности людей и природной среде.

Необходимо также отметить, что в экологическом аспекте проблема воздействия предстоящих изменений климата на подземные воды и геологическую среду в целом находится лишь на начальной стадии разработок. Многие методические вопросы прогнозирования последствий в окружающей среде требуют дальнейших серьезных исследований. Первые выполненные оценки показывают, что в ряде регионов негативные последствия в среде будут достаточно существенными, что обязывает изучать и оценивать их более тщательно, с учетом природных и техногенных особенностей регионов и их уязвимости к тем или иным негативным процессам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Будыко М.И., Винников К.Я., Дроздов О.А., Ефимова Н.А. Предстоящие изменения климата // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1978, № 6. С. 5–20.
- Гавич И.К. Теория и практика использования моделирования в гидрогеологии. М.: Недра, 1980. 359 с.
- Клиге Р.К. Формирование и многолетние изменения водного режима Восточно-Европейской равнины. М.: Наука, 1993. 125 с.
- Ковалевский В.С. Основы прогнозов естественного режима подземных вод. М.: Стройиздат, 1974. 204 с.
- Ковалевский В.С., Максимова Н.Г. О возможной изменчивости подземного питания рек в будущем в связи с климатическими изменениями // Тр. Всес. гидрол. съезда "Водные ресурсы и водный баланс". Л.: Гидрометеоиздат, 1988. С. 354–360.
- Ковалевский В.С. Влияние изменений гидрогеологических условий на окружающую среду. М.: Наука, 1994. 138 с.
- Ковалевский В.С., Ефременко А.В. Особенности режима и ресурсов карстовых вод Русской платформы и прогноз их изменений в связи с техногенными трансформациями климата // Водные ресурсы, 1995. Т. 22. № 3. С. 372–383.
- Предстоящие изменения климата / Под ред. М.И. Будыко, Ю.А. Израэля, М.С. Маккракена, А.Д. Хекта. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 272 с.

- Шнитников А.В. Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария. // Зап. Геогр. о-ва СССР. 1957. Нов. сер. Т. 16. С. 23–57.
- Groundwater models. / Ed. I.D. Bredehoeft et. al. P.: The UNESCO Press., 1982. V. 1. 235 p.
- Hydrological forecasting / Ed. M.G. Anderson, P.A. Burti. N.Y.: Willy Publ., 1988. 729 p.
- Issar A.S. Impact of climate variations on water management and related socio-economic systems. / Paris.: UNESCO Publ., 1995. 115 p.
- Jones P.D., Wigley T.M., Wright P. Global temperature variations between 1861 and 1984. // Nature. 1986. V. 322. P. 340–434.
- Neftel A., Moor E., Oeschger H., Stauffer B. Evidence from polar ice cores for the increase in atmosphere CO in the past two centuries. // Nature. 1985. V. 315. P. 45–47.
- Climate Change. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group 1 to the second Assessment Report of the International Panel on Climate Change / Ed. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, K. Maskell. Cambridge: University Press., 1995. 572 p.

ИВП РАН
ИГЭ РАН

Поступила в редакцию
20.XI.1996

УДК 624.131

© 1997 г. В.П. ЗВЕРЕВ, О.Ю. ВАРВАНИНА, В.С. ПУТИЛИНА

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Показано, что на территории России за последние 30 лет происходит некоторое изменение химизма атмосферных осадков, заключающееся в увеличении их минерализации и содержания большинства макрокомпонентов, и некоторое снижение их кислотности, выражющееся в незначительном росте pH и объясняемое высокой нейтрализующей способностью катионной составляющей. В то же время в промышленных районах по-прежнему отмечается эпизодическое выпадение достаточно кислых атмосферных осадков, негативно воздействующих на окружающую среду, прежде всего на растительность и поверхностные воды.

Атмосферные осадки – важнейший геохимический агент преобразования земной поверхности и ландшафтов, определяющий как биологическую, так и экзогенную геологическую деятельность. Решающее значение, конечно, имеет их норма – количество, но не последнюю роль, особенно с экологической точки зрения, в этом столетии играют и особенности химизма атмосферных осадков.

Основными процессами, формирующими химический состав осадков в естественных условиях, являются поступления в атмосферу солей с поверхности морей и океанов, ветровой вынос пыли с поверхности континентов и вулканизм. В современную эпоху значительное влияние на химизм атмосферных осадков оказывает антропогенная деятельность.

Многочисленные исследования, выполненные в районах морских побережий, дают основания заключить, что заметное и устойчивое, не эпизодическое влияние акваторий на химический состав атмосферных осадков распространяется не далее 200–250 км в глубь континента, а в горных – на порядок меньше. В то же время в атмосферных осадках всегда присутствует небольшая часть солей океанического происхождения.

Влияние морских акваторий на состав осадков хорошо иллюстрируется на примере Черноморского побережья Кавказа в районе Сочи – Красной Поляны (рис. 1), где установлено закономерное уменьшение их минерализации и содержания Cl и Na по мере удаления от береговой линии [7].

Естественное пылевое загрязнение атмосферы в основном глинистыми минералами и карбонатом кальция, уровень которого возрастает со снижением нормы атмосферных осадков, наблюдается повсеместно. Максимальных значений оно достигает в зонах пустынь и полупустынь, особенно в районах засоления почв, где в атмосферу с поверхности выносятся пылевые частицы хлорида натрия и сульфата кальция.

Весьма значительная часть суши характеризуется такими климатическими и ландшафтно-географическими условиями, в которых влияние отмеченных выше процессов на состав атмосферных осадков в естественных условиях выражено слабее. К подобным территориям относятся огромные пространства тропической, умеренной лесной и таежной зон, а также горные области. Конечно, и здесь нельзя полностью исключить пылевое загрязнение атмосферы и поступление солей с поверхности. Но в подобных условиях их влияние на химический состав атмосферных осадков в пределах весьма обширных площадей можно считать относительно постоянным. Тем не менее и здесь их химический состав довольно разнообразен и изменчив даже на небольших участках.

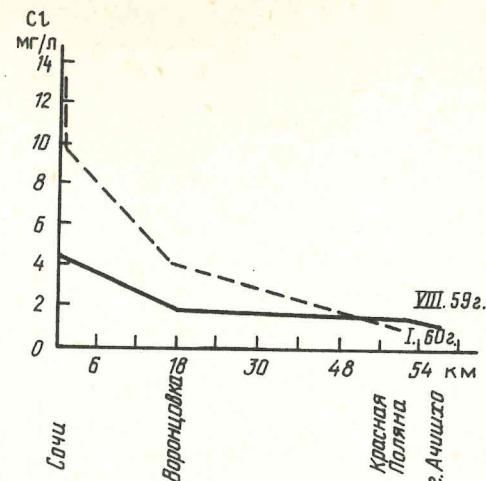


Рис. 1. Содержание Cl в атмосферных осадках, выпавших на Черноморском побережье Кавказа на разном удалении от береговой линии [7]

Изучение обширного материала по режиму химического состава атмосферных осадков, выпавших в различных регионах, показало [8, 9], что в естественных условиях для определенного пункта он является достаточно постоянным, определяясь прежде всего ландшафтно-геохимическими условиями местности.

На этот выдержаный региональный фон и накладывается антропогенная нагрузка. Для изучения ее влияния на химический состав атмосферных осадков, выпадавших на территории России, рассмотрены особенности их изменения с 1958 по 1990 г. Помимо небольших собственных исследований основная масса рассмотренного фактического материала представляет собой данные регулярных режимных наблюдений, проводившихся в этот период Гидрометеослужбой на территории бывшего СССР, сведенных и изданных в соответствующих сборниках [3–6, 14, 15]. Первоначально исследования велись в 14 пунктах, к концу срока их число увеличилось до 260. Сейчас подобные исследования резко сократились.

Было установлено, что в естественных условиях, особенно в пределах Европейской части России, где климатическая зональность выражена наиболее отчетливо, происходит увеличение минерализации атмосферных осадков с севера на юг, т.е. от зоны избыточного и достаточного увлажнения к более засушливым. Одновременно в этом направлении наблюдается увеличение pH атмосферных осадков и содержания K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- . При этом концентрация азотистых соединений (NH_4^+ , NO_3^-) в осадках всех климатических зон за исключением промышленных районов примерно равна (табл. 1). В горных областях концентрация отдельных компонентов в атмосферных осадках и их минерализация значительно меньше, чем в контактирующих с ними ландшафтно-климатических зонах (например, горы Кавказа и зона недостаточного увлажнения).

Всего в пределах России можно выделить пять основных ландшафтно-климатических зон, характеризующихся общностью химического состава атмосферных осадков: 1) избыточного и достаточного увлажнения, 2) недостаточного увлажнения, 3) сухую, 4) горных районов и 5) морских побережий. Их различия хорошо иллюстрируются изменениями минерализации (рис. 2).

Наименьшее значение минерализации атмосферных осадков (1–15 мг/л) характерно для горных районов; несколько выше (5–25 мг/л) – в пределах обширной зоны избыточного и достаточного увлажнения, занимающей северную половину Европейской

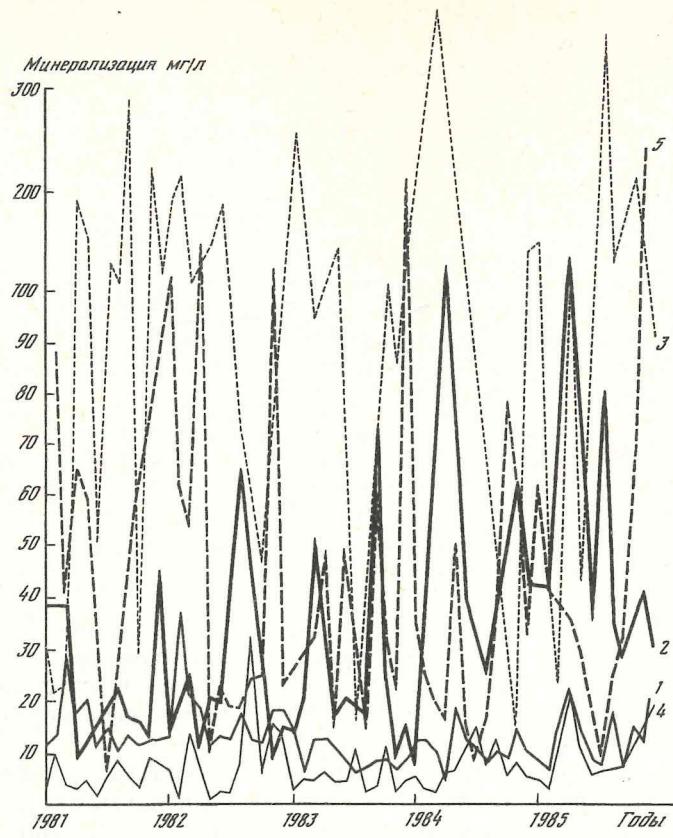


Рис. 2. Изменение минерализации атмосферных осадков, выпавших в 1981–1985 гг. в основных климатических зонах России и сопредельных стран (по [6]): 1 – зона достаточного увлажнения (Валдай), 2 – зона недостаточного увлажнения (Цимлянское), 3 – сухая зона (Жарык, Казахстан), 4 – горная зона (предгорья Кавказа, район Адлера), 5 – морские побережья (Аян)

России и большую часть Сибири и Дальнего Востока. Еще выше и более контрастна (10–80 мг/л) минерализация атмосферных осадков зоны недостаточного увлажнения. И наконец, максимальные и наиболее контрастные (15–350 мг/л) значения минерализации осадков характеризуют сухую зону, для которой в качестве примера из-за отсутствия необходимого цикла региональных наблюдений на территории России взят пункт Жарык на севере Казахстана. Подобная же высокая и контрастная (10–200 мг/л) минерализация осадков присуща морским и прежде всего океаническим побережьям.

Увеличение минерализации атмосферных осадков в значительной мере обусловлено изменением их химического состава от сульфатного натриевого в зоне избыточного и достаточного увлажнения к сульфатному натриево-кальциевому в зонах недостаточного увлажнения и сухой. Для горных районов характерен в основном сульфатно-гидрокарбонатный кальциевый тип осадков, а для морских побережий – хлоридный натриевый.

На этот региональный фон накладывается антропогенная нагрузка, происхождение и основные источники которой могут быть следующими. Вынос пылеватых частиц с поверхности Земли возрастает в результате активизирующейся антропогенной деятельности. При прочих равных условиях эоловая генерация пылеватых частиц происходит интенсивнее там, где отсутствует или слабо развит травяной покров, а также при меньших значениях влажности поверхности почв. В фоновых условиях

концентрация минеральной пыли на территории России меняется в зависимости от широтной зональности от 5–20 мкг/м³ в районах с лесным покровом до 30–100 мкг/м³ в зоне степей [1]. В атмосфере промышленных городов она значительно выше, составляя в среднем 210 мкг/м³ [13].

Мощным антропогенным источником поступления в атмосферу пылеватых частиц являются дымовые выбросы, образующиеся при сжигании каменных углей, обжиге цемента, производстве из него строительных материалов, лесных пожарах, сельскохозяйственных работах, эксплуатации многочисленных грунтовых дорог и т.п. Все эти факторы активно проявляются на территории России, особенно в ее Европейской части, на Урале, а также в наиболее развитых южных районах Сибири. В итоге происходит накопление в атмосферных осадках катионов: K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, а также Cl⁻. Другой важнейший источник загрязнения атмосферы и, как следствие, атмосферных осадков – газовые выбросы. Главными их источниками являются производство электроэнергии на тепловых станциях, горная и цветная металлургия, химическая и нефтяная промышленность, автотранспорт. Как и для пылевого загрязнения атмосферы, антропогенная нагрузка этого типа в значительной мере приурочена к Европейской части России, Уралу и промышленным районам Сибири. В результате в атмосферу выбрасываются оксиды серы, азота и углерода, соотношения между которыми определяются соответственно пропорцией 1:0,3:2,9, и углеводороды. Преобразование загрязняющих атмосферу газовых компонентов происходит с участием находящихся в ней кислорода и молекул воды. В результате их взаимодействия в атмосферных осадках образуются ионы SO₄²⁻, NO₃⁻, HCO₃⁻, а также NH₄⁺.

Количественные характеристики влияния двух выделенных основных источников загрязнения атмосферных осадков показаны на примере крупнейших промышленных центров России за 1981–1985 гг., когда загрязнение окружающей среды было максимальным. Фоном для Москвы и Ленинграда соответственно служили метеостанции Валдай и Воейково (рис. 3, 4). Рассмотрено изменение во времени величины pH и концентрации двух характерных ионов – Ca²⁺ и SO₄²⁻, первый из которых связан с пылевым загрязнением атмосферы, а второй – с газовым. Из рис. 3 и 4 хорошо видно, что фоновые показатели для них значительно ниже и более выдержаны. Для промышленных мегаполисов характерны значительные всплески концентрации отдельных компонентов, связанные с их интенсивным поступлением в атмосферу в результате техногенной нагрузки.

Режимные наблюдения за более длительный период наблюдений (с 1958 по 1990 гг.), выполненные на территории России от ее западных регионов до Тихоокеанского побережья, показывают, что в современную эпоху происходит закономерное постепенное увеличение концентрации Ca²⁺ и SO₄²⁻ в атмосферных осадках, которое особенно отчетливо проявляется в промышленных районах (рис. 5).

При оценке негативного воздействия атмосферных осадков на окружающую среду в качестве контролирующих его параметров обычно рассматривают изменение массы поступающих с ними химических соединений, и в первую очередь NO₃⁻ и SO₄²⁻, ответственных, по мнению большинства исследователей [10, 13], за кислотность осадков. В среднем в естественных условиях на территорию России поступает от 8,9 до 15,2 т/год · км² (табл. 2), увеличиваясь до 70 т/год · км² в районе океанических побережий и до 80 и более т/год · км² в тех промышленных районах, где преобладают сульфаты.

Кислотность осадков связана в основном с растворением SO₂ в атмосферной воде, что приводит к ее диссоциации и накоплению ионов SO₄²⁻ и H⁺. Причем только последний и является причиной и показателем кислотности водного раствора. Но содержание отдельных химических компонентов в атмосферных осадках, как и в других природных водах, нельзя рассматривать изолированно. Природные воды – это сложная физико-химическая система, в которой все положительно и отрицательно

Таблица 1

Средний за 1990 г. химический состав атмосферных осадков в основных химических зонах России (по [3–6, 14, 15])

Климатическая зона	Место отбора проб	Концентрация, мг/л										pH
		SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	минерализация	
Избыточного увлажнения	Сыктывкар Войкovo Курдымкар Кураево Оренбург Барабинск Канский заповедник Саянск	5,1 4,9 1,8 3,7 12,3 6,8 4,1 2,3	2,1 0,9 1,5 1,0 3,5 3,3 0,8 1,4	1,2 1,9 2,8 1,0 3,0 1,9 0,7 1,4	3,3 1,0 6,9 2,8 8,9 11,7 0,3 0,9	0,9 1,2 0,3 0,8 1,6 1,5 0,7 0,9	0,8 0,6 0,4 0,3 1,6 2,9 0,5 0,3	1,7 1,0 0,2 0,3 1,4 1,6 0,6 0,4	0,8 1,0 3,0 0,3 5,0 4,6 0,6 0,4	1,7 1,0 3,0 0,1 0,7 0,6 0,1 0,3	17,2 12,0 17,5 11,7 39,0 34,9 8,5 9,1	5,9 5,3 5,9 6,2 6,3 6,7 5,1 5,9
Достаточного увлажнения	Горных районов	11,4	65,6	0,4	6,2	0,6	36,7	1,8	3,5	4,0	130,4	6,6
Недостаточного увлажнения	Морских побережий	152,9	6,1	1,1	13,5	1,7	2,4	2,7	60,8	1,4	242,6	6,8
Промышленных районов	Аян Норильск											

Поступление солей с атмосферными осадками [9]

Климатическая зона	Количество осадков, мм	Поступления химических элементов, 10 ⁶ г/год · км ²									
		SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	сумма солей
Избыточного увлажнения	736	3,61	0,66	1,39	0,74	0,88	0,44	0,37	0,74	0,07	8,9
Достаточного увлажнения	576	1,04	0,86	1,61	3,97	0,17	0,23	0,17	1,73	0,35	10,13
Недостаточного увлажнения	438	2,98	1,45	0,83	5,12	0,66	1,27	0,61	2,01	0,26	15,19
Горных районов	1784	7,31	1,43	1,25	1,53	1,61	0,89	0,53	1,07	0,18	14,8
Морских побережий	560	6,38	36,74	0,22	3,47	0,36	20,55	1,01	1,96	2,24	72,91
Промышленных районов	383	58,56	2,34	0,15	2,37	0,23	14,06	0,69	1,34	1,53	81,27

Таблица 2

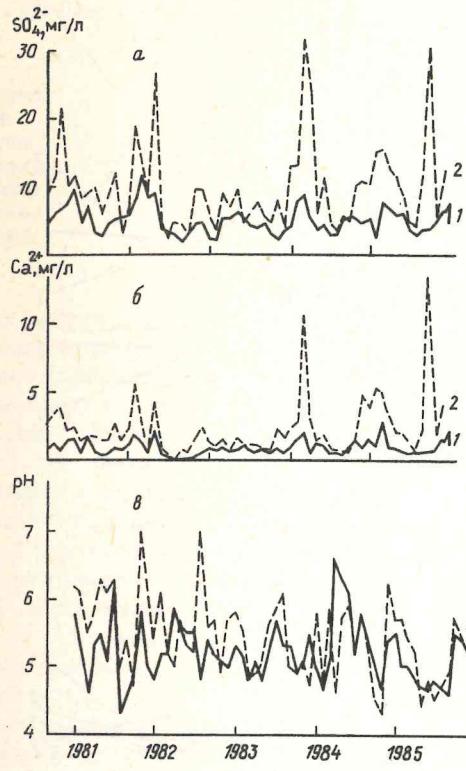


Рис. 3

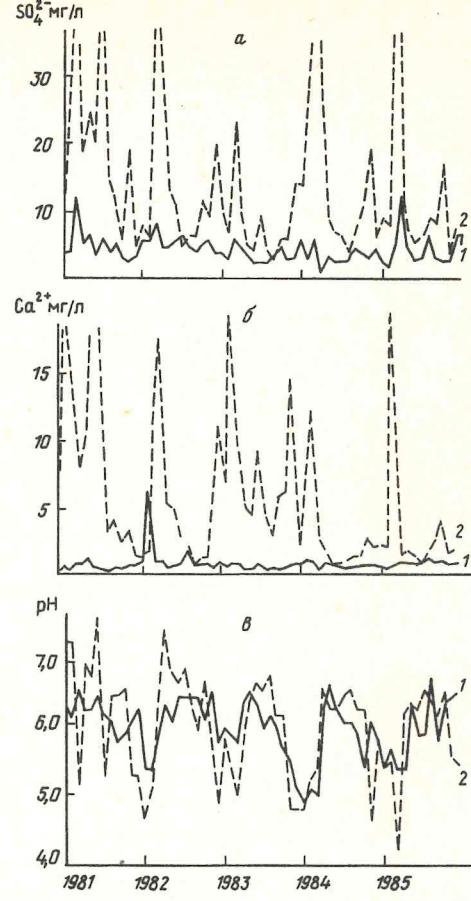


Рис. 4

Рис. 3. Изменение концентрации ионов SO₄²⁻ (а) и Ca²⁺ (б) и pH (в) атмосферных осадков, выпавших в Воейково (1) и Ленинграде (2) в 1981–1985 гг. [6]

Рис. 4. Изменение концентрации ионов SO₄²⁻ (а) и Ca²⁺ (б) и pH (в) атмосферных осадков, выпавших в Валдае (1) и в Москве (2) в 1981–1985 гг. [6]

заряженные химические компоненты взаимосвязаны. Их количество и взаимодействие и определяют степень кислотности среды, в том числе и процесс нейтрализации кислотных компонентов.

Количественно охарактеризовать последний процесс предложено в [2] с помощью специального коэффициента (δ), который равен доле действующих сильных кислот, а величина ($1-\delta$) – доле нейтрализованных сильных кислот в атмосферных осадках. Коэффициент δ вычисляется из линейного соотношения

$$\delta = 1 - \sum z_j [C_j^+] / \sum z_j [C_j^-] \text{ при } 0 < \Sigma^+ / \Sigma^- < 1,$$

$$\delta = 0 \text{ при } \Sigma^+ / \Sigma^- \geq 1,$$

где $[C_{j,i}]$ – молярные концентрации главных анионов и катионов, $z_{j,i}$ – их валентности.

Изучение химического состава атмосферных осадков показывает, что процесс нейтрализации обусловливается главным образом катионами Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, K⁺, Na⁺, но их вклад для различных регионов не одинаков [12].

Значение показателя нейтрализации и pH для отдельных пунктов изучения химического состава атмосферных осадков на территории России (среднегодовые данные за 1985 г. [2])

Пункт изучения	Показатель нейтрализации δ	pH	Пункт изучения	Показатель нейтрализации δ	pH
Ленинград	0	5,7	Славгород	0	6,1
Валдай	0	5,4	Новосибирск	0	6,6
Серпухов	0	6,5	Ефимовская	0	6,2
Сыктывкар	0	6,2	Хамар-Дабан	0	6,2
Кудымкар	0	5,8	Аян	0	6,8
Цимлянск	0	6,4	Москва	0,004	5,4
Пятигорск	0	6,3	Воейково	0,046	5,5

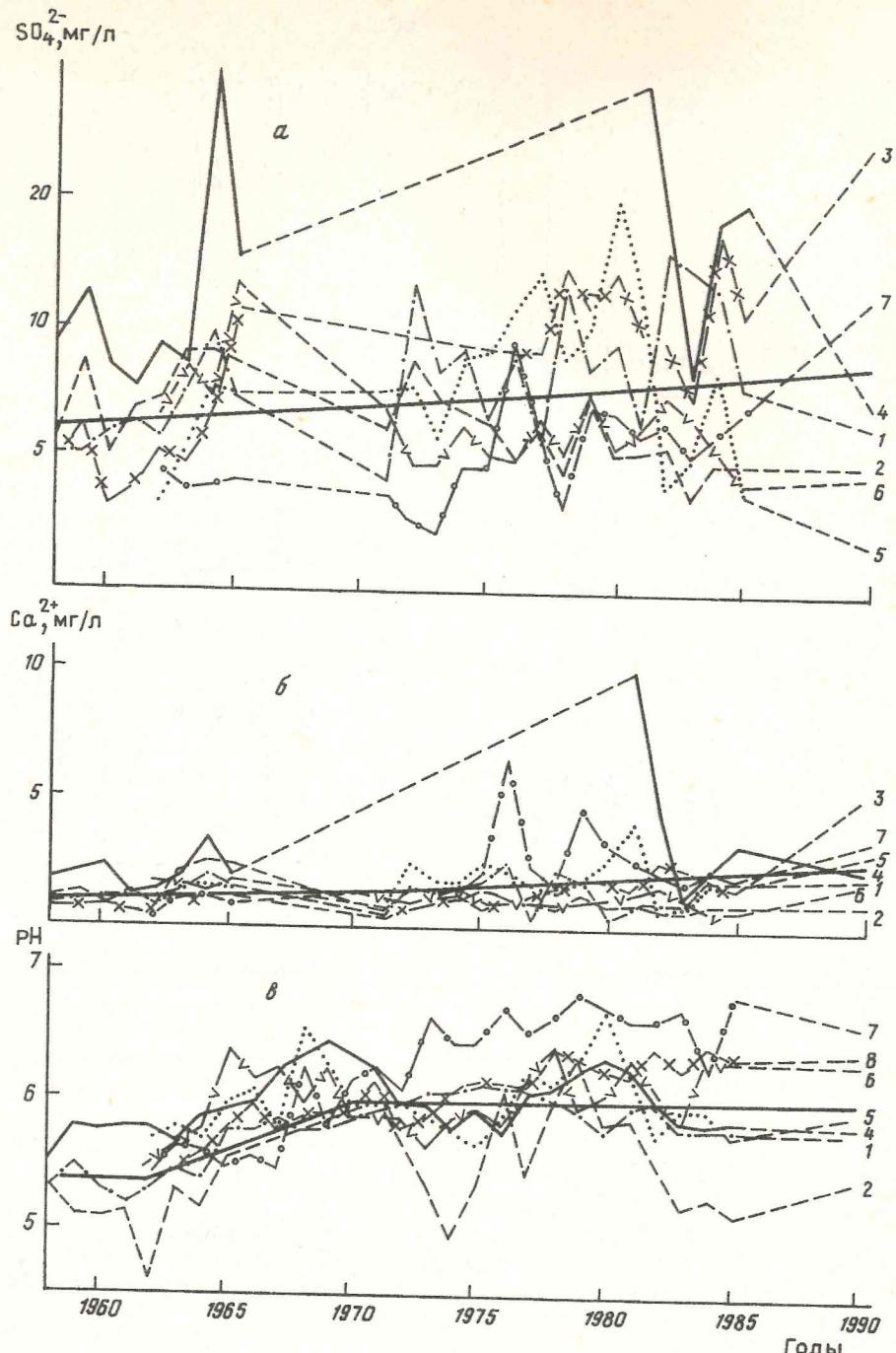


Рис. 5. Изменение концентрации ионов SO_4^{2-} (а) и Ca^{2+} (б) и pH (в) атмосферных осадков, выпавших в Воейково – Ленинграде в 1958–1990 гг. [по 3–6, 14, 15]: 1 – Кемери, 2 – Воейково, 3 – Мудьюг, 4 – Москва, 5 – Кудымкар, 6 – Славгород, 7 – Аян, 8 – Хамар-Дабан

Источники нейтрализующих катионов могут быть как естественного, так и антропогенного происхождения. Это как поступления почвенной пыли с большим содержанием карбонатов и силикатов, так и результат плохой очистки выбросов при сжигании угля, в котором кальций и магний всегда присутствуют в больших количествах, чем сера. Главный источник естественного аммония – разложение биомассы, а антропогенного – животноводство. Поступление натрия связано с выносом при испарении с акваторий океанов и морей.

Анализ катионного состава атмосферных осадков показал, что для территории России нейтрализация содержащихся в них кислот может осуществляться главным образом кальцием, магнием и аммонием. Наиболее мощным региональным источником поступления кислотных соединений на территорию России является промышленно развитая Западная и Центральная Европа, включая Чехию, Польшу, Финляндию. Однако в результате перемешивания воздушных масс над территорией России эти соединения в большинстве случаев нейтрализуются уже в атмосфере и не дают кислотных выпадений на больших территориях. Это хорошо иллюстрируется рассчитанными значениями показателя нейтрализации для отдельных пунктов, приведенными в табл. 3 [2]. Исключения составляют находящиеся на западе, недалеко от скандинавских источников загрязнения, Воейково и крупнейший промышленный мегаполис Москва.

О процессах нейтрализации говорят данные об изменении pH атмосферных осадков на территории России в пространстве и времени. Так, pH атмосферных осадков закономерно возрастает с запада на восток от 5–5,5 до 6,5–7,0. Отмечается и постепенное увеличение pH за период с 1958 по 1990 гг. На рис. 5 показано изменение pH атмосферных осадков. Характерно, что это происходит одновременно с увеличением концентрации и положительно заряженного Ca^{2+} , и отрицательно заряженного SO_4^{2-} .

Таким образом, из всего сказанного следует, что увеличение концентрации сульфатов и соответственный рост сернистых соединений в атмосферных осадках на территории России не приводят к значительному увеличению кислотности среды, которая в природных водных системах может контролироваться только водородным ионом и оцениваться величиной pH.

В отличие от европейских стран, где нейтрализующая способность среды из-за высокой окультуренности территории и очистки промышленных выбросов от пылеватых частиц невелика, в России, с ее более естественной средой обитания и невысокой степенью утилизации выбросов, формируются более "благоприятные" условия нейтрализации кислотных соединений уже непосредственно в атмосферных осадках.

Поэтому в настоящее время на территории России кислые атмосферные осадки выпадают только эпизодически и приурочены к крупным промышленным центрам с интенсивными выбросами сернистых газов и недостаточностью нейтрализующих компонентов. Например, на территории мегаполиса Москвы (рис. 3) наблюдаются отдель-

ные периоды выпадения относительно кислых атмосферных осадков с рН < 5, обычно в зимние месяцы, что, очевидно, связано с отопительным сезоном, когда значительно возрастает поступление в атмосферу SO₂ и уменьшается вынос пылевых частиц с поверхности земли из-за наличия снегового покрова. Весьма ярко это проявляется также и в пределах Кольского п-ова, где при высокой промышленной нагрузке на атмосферу ее нейтрализующая способность вследствие особенностей ландшафта минимальна.

Заключение

За последние 30 лет на территории России произошло некоторое изменение химизма атмосферных осадков, заключающееся в увеличении их минерализации, содержания большинства макрокомпонентов и, что удивительно, некотором снижении их кислотности, выражаясь в незначительном росте рН и объясняемом высокой нейтрализующей способностью катионной составляющей (рис. 5).

Однако в промышленных районах, а также на севере России по-прежнему отмечается выпадение, в основном в зимний период, достаточно кислых атмосферных осадков, негативно воздействующих на окружающую среду и прежде всего растительность и поверхностные воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 197 с.
2. Василенко В.Н., Дликман И.Ф., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Нейтрализация кислотных осадков в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. 1993. № 8. С. 8–14.
3. Ежемесячные данные по химическому составу атмосферных осадков за 1962–1965 гг. Л.: ГГО, 1970. 68 с.
4. Ежемесячные данные по химическому составу атмосферных осадков за 1971–1975 гг. Л.: ГГО, 1980. 38 с.
5. Ежемесячные данные по химическому составу атмосферных осадков за 1976–1980 гг. Л.: ГГО, 1986. 54 с.
6. Ежемесячные данные по химическому составу атмосферных осадков за 1981–1985 гг. Л.: ГГО, 1989. 188 с.
7. Зверев В.П. Химический состав атмосферных осадков Черноморского побережья Кавказа // Докл. АН СССР. 1962. Т. 142. № 5. С. 1158–1161.
8. Зверев В.П. Роль атмосферных осадков в круговороте химических элементов между атмосферой и литосферой // Докл. АН СССР. 1968. Т. 181. № 3. С. 716–719.
9. Зверев В.П., Рубейкин В.З. Роль атмосферных осадков в круговороте химических элементов между атмосферой, литосферой и гидросферой // Изв. вузов. Геология и разведка. 1973. № 2. С. 54–60.
10. Израэль Ю.А., Назаров И.М., Пресман А.Я. и др. Кислотные дожди. Изд. 2-е. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 269 с.
11. Махоненко К.Л., Работкова Р.А. Концентрация минеральной пыли в атмосфере на территории СССР // Метеорология и гидрология. 1981. № 1. С. 61–65.
12. Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Нейтрализация кислотных дождей // Метеорология и гидрология. 1994. № 4. С. 46–57.
13. Савенко В.С. Природные и антропогенные источники загрязнения атмосферы // Итоги науки и техники. Сер. Охрана природы и воспроизводства природных ресурсов. Т. 31. М.: ВИНИТИ, 1991. 208 с.
14. Состояние и развитие наблюдений за химическим составом и кислотностью атмосферных осадков. СПб.: ГГО, 1991. 61 с.
15. Химический состав атмосферных осадков на Европейской территории СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1964. 210 с.

ИГЭ РАН

Поступила в редакцию
14.V.1994

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология

5 • 1997

УДК 504.054:62

© 1997 г. Н.А. КАПЕЛЬЩИКОВ, В.К. ЛУКАШЕВ, Г.В. НОВИКОВ,
В.П. РОМАНОВ, М.Е. ФЕЙГЕЛЬМАН

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ИГНАЛИНСКОЙ АЭС

На основе аэрокосмосъемочных материалов, геофизических и геохимических исследований изучено техногенное влияние Игналинской АЭС на окружающий ландшафт. Обнаружено тепловое загрязнение водоема-охладителя (оз. Дрисвяты), увеличение количества радионуклидов, а также некоторых тяжелых металлов в донных осадках и почвах.

С целью изучения сложившейся геоэкологической ситуации в зоне влияния Игналинской АЭС (ИАЭС), оснащенной реакторами чернобыльского типа, были проведены специализированные аэросъемки и гидрогеохимическое опробование территории, примыкающей к станции, включая водоем-охладитель (оз. Дрисвяты). Полученные материалы легли в основу данной работы.

Краткая характеристика ИАЭС. Игналинская станция, введенная в действие в 70-е годы, расположена на берегу оз. Дрисвяты (Друкшай) и занимает вместе с системой обеспечения территории в несколько сотен гектаров (рис. 1–2). Производственный корпус, имеющий два действующих и один законсервированный (в стадии строительства) энергоблоки, находится практически в прибрежной полосе водоема-охладителя – до кромки воды несколько сотен метров. Производственная площадка отличается повышенной техногенной нагрузкой на ландшафт; разрушается почвенно-растительный покров и берег озера, что способствует увеличению плоскостного сноса в него песчано-глинистых частиц, отлагаемых на прибрежных отмелях. Кроме промышленных застроек здесь сооружены два канала, один из которых предназначен для забора воды для охлаждения реакторов, другой – для ее сброса в водоем-охладитель. Восточнее площадки третьего энергоблока сооружается новый канал до юго-восточного залива оз. Дрисвяты. При его эксплуатации сброс отработанных вод, безусловно, изменит режим озера: тепловое загрязнение распространится на всю южную часть водоема. Учитывая размеры и малые глубины (менее 4 м) этой части озера, негативное влияние будет весьма существенным и быстро прогрессирующим. Острова Сосновец, Липовец и Замек и их прибрежные отмели послужат естественным препятствием для проникновения сброшенных вод в основную часть озера. Накопление последних произойдет именно в юго-восточной мелководной части оз. Дрисвяты с последующим выносом их р. Прорва в систему озер Ставок – Оболе – Богинское.

Геологические исследования. Территория ИАЭС расположена на стыке трех крупных геологических структур: Балтийской синеклизы, Мазурско-Белорусской антиклизы и Латвийской седловины. Кристаллический фундамент, залегающий на глубине 500–700 м, погружается в северо-западном направлении и перекрыт ордовикскими и силурийскими мергелями и известняками (200–250 м), нижне- и среднедевонскими алевритами, глинами и доломитизированными глинами (150–200 м), нижнекарбоновыми алевритами и песками (100–120 м). Плейстоценовые отложения представлены моренными и водно-ледниковым материалом мощностью от 100 до 150 м. По типу рельефа район ИАЭС можно отнести к краевым моренным образованиям валдайского оле-

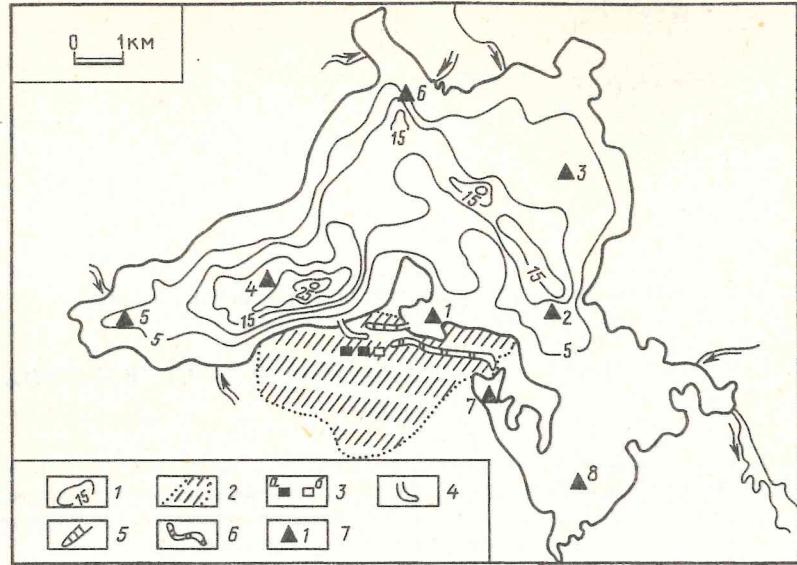


Рис. 1. Схема расположения Игналинской АЭС: 1 – изобаты с отметками глубин; 2 – территория АЭС; 3 – реакторы; а – действующие, б – строящийся; 4 – канал для забора воды; 5 – сбросной канал; 6 – строящийся канал; 7 – точки гидрогоеохимического опробования и их номер

денения. Уровень первого от поверхности (ненапорного) водоносного горизонта района изменяется (абсолютные отметки) от 150 м на водоразделах до 138 м в понижениях рельефа, занятых озерами. Мощность зоны аэрации колеблется от первых метров до 20 м и более. Из современных геологических процессов преобладают плоскостной смыв (в основном более 1 мм/год) и крип (2–4 мм/год).

Материалы дешифрирования аэрокосмоснимков (рис. 3), комплекс структурно-геоморфологических и морфометрических исследований позволили выделить тектонически активные зоны (ТАЗ). Одна из них является северным продолжением Кореличской ТАЗ и проявляется в современном ландшафте в виде цепочки вытянутых вдоль зоны озер Дрисвяты, Недрово, Струсто, Снуды. Озера Богинское, Оболе, Дрисвяты, Бригенос, Устаускас и отрезок р. Западной Двины относятся к Игналинской ТАЗ, к ней приурочено глубоководное (20–31 м) желобовидное понижение дна оз. Дрисвяты, на западном борту которой расположена ИАЭС.

Более детальные работы были проведены литовскими исследователями с привлечением материалов аэромагнитной съемки и сейсморазведки [15]. Установлено, что кристаллический фундамент в районе оз. Дрисвяты разбит разломами широтного и северо-западного простирания на отдельные блоки (рис. 4). Наиболее четко в магнитном поле прослеживаются две зоны субширотного и субмеридионального простирания, коррелирующие с ТАЗ, выделенными на аэрокосмоснимках и подтвержденными сейсморазведкой. Амплитуды смещения пород кристаллического фундамента составляют 250 м, а по осадочному чехлу – 170 м. Изучение неотектонической ситуации в районе ИАЭС выявило, что некоторые разломы (в частности, разломы Дрисвятской системы) весьма активны. Это вызывает инфильтрацию подземных вод, а также разрывы слоев пород осадочной толщи. Поэтому любое нарушение технологии функционирования ИАЭС создает, по мнению авторов, дополнительную возможность миграции загрязненных вод из охладителя к г. Даугавпилс (Латвия) и на территорию Беларусь.

Климатические условия. По данным расположенных в районе ИАЭС метеостанций, суммарная солнечная радиация в среднем составляет 86 ккал/см (прямая – 42, рассеянная – 44 ккал/см). В холодный период года здесь преобладают ветры южных

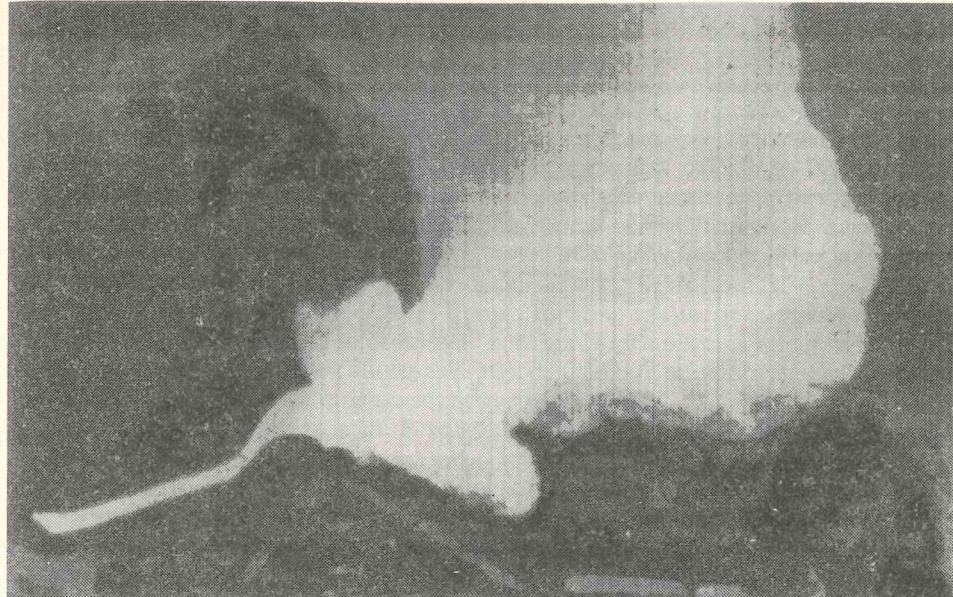


Рис. 2. Тепловое загрязнение оз. Дрисвяты. Фрагмент аэроснимка (м-б 1 : 15 000)

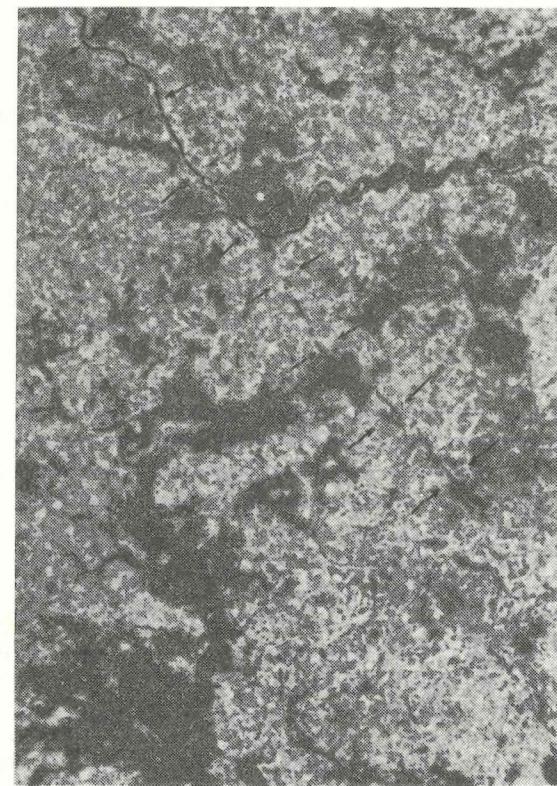


Рис. 3. Космоизображение района Игналинской АЭС. Стрелками показана Игналинская ТАЗ (м-б 1 : 1 000 000)

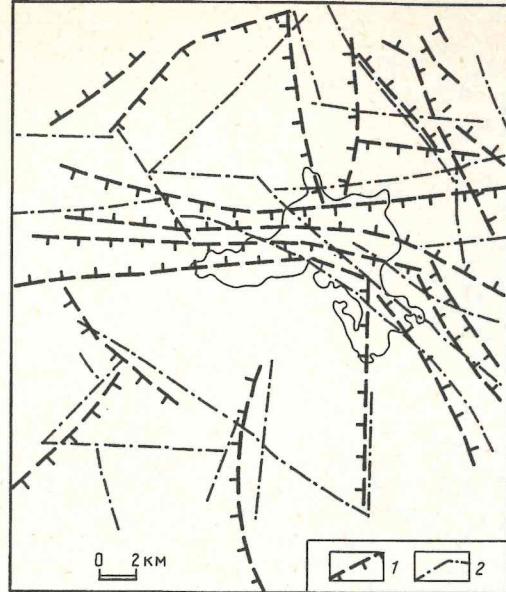


Рис. 4. Схема тектонических нарушений района Игналинской АЭС. Разломы кристаллического фундамента по данным: 1 – сейморазведки; 2 – аэромагнитной съемки

румбов (Ю, ЮЗ, ЮВ) со скоростью 4–5 м/с в теплый период скорость ветра составляет 2,5–3,5 м/с, а направление меняется на западное (З, СЗ, ЮЗ). Температура воздуха зимой (январь) – 5,5°C (минимум – 24°C), летом (июль) + 17,5°C (максимум + 34°C). Относительная влажность 80–81% (зимой 84–88%, летом 70–80%). Среднегодовая сумма осадков 620 мм. Снежный покров удерживается 100–110 дней (ноябрь – апрель).

Гидрологические условия. Оз. Дрисвяты расположено практически на стыке Литвы, Беларуси и Латвии, являясь пограничным между первыми двумя. Площадь водного зеркала – 44,5 км², объем воды 313 млн. м³ [13]. Максимальная глубина 31 м. Берега озера большей частью умеренно крутые, высотой 1,5 м. Затопляемая прибрежная часть котловины занимает около 5 км². Рельеф дна озера во многом схож с поверхностью окружающей местности (чередование поднятий и впадин). Наиболее распространенными донными отложениями являются оливковый, серый и коричневый илы, залегающие преимущественно в центральной части водоема и его заливах: песчаные и песчано-галечные образования встречаются, как правило, на глубинах до 5 м. Зарастаемость озера водной растительностью (тростником, ситником, плавуном) составляет 10% его площади. Озеро проточное. Приток воды осуществляется преимущественно через реки Дрисвята, Смальяле, Ричанка, а вытекает одна – р. Прорва. Далее вода поступает в оз. Оболе и Богинское, реки Дисну и Западную Двину. Абсолютные отметки уровня воды оз. Дрисвяты 141,6 м, урез воды в озерах Ставок и Оболе соответственно на отметках 141,1 и 137,0 м. Площадь водосбора оз. Дрисвяты составляет 560 км² (без площади зеркала). На водосборе насчитывается около 110 озер (наиболее крупные из них – Ричи, Сила, Муйса, Смалвос, Опиварда, Пругас) общей площадью зеркал 46,4 км². Густота речной сети на водосборе 0,3 км/км².

Результаты аэрофотосъемки. Для изучения воздействия ИАЭС на природную среду была выполнена тепловизионная аэросъемка в масштабе 1 : 50 000 в среднем (3–5 мкм) и дальнем (8–12 мкм) диапазонах инфракрасной области электромагнитного спектра аэросъемочным комплексом "Тимур" с тепловизором "Вулкан" и аэрофотоаппаратом АФА-ТЭС-7. Регистрировалось собственное тепловое излучение, интенсив-

ность которого является функцией температуры и состояния излучаемой поверхности. Пороговая чувствительность системы не выше 0,25°C. Тепловизионные снимки имеют строчную структуру, обеспечивающую высокое качественное изображение объектов земной поверхности, в тепловом поле которой находят отражения различные виды техногенного воздействия на природную среду и ее изменения. Это позволило выявить в пределах оз. Дрисвяты тепловую аномалию шириной от 2,0 до 2,5 км (рис. 2). "Тепловой факел" ориентирован в северном направлении, имеет отчетливую (неразмытую) восточную границу контура. Скорее всего, это обусловлено резким увеличением глубины озера. При этом контур теплового загрязнения остается, по-видимому, достаточно постоянным, о чем говорит сравнение материалов ИК-тепловизионной съемки этой территории 1988 и 1989 г. Кроме того, на территории производственной площадки АЭС, вплотную прилегающей к береговой черте, дешифрируются еще несколько локальных тепловых аномалий, обусловленных технологическими сбросами в озеро, а также ряд производственных корпусов станции.

Гидрохимические исследования. В ходе комплексной радиационно-экологической съемки в мае 1992 г. были проведены замеры температуры и содержания кислорода контактными методами. Температура воды в сбросном канале – 23,2°C при содержании кислорода 6,2 мг/л, что соответствует 72% насыщения. В заливе, непосредственно примыкающем к сбросному каналу, отмечается сильное воздействие подогретых вод. Так, слой воды толщиной 2 м имел температуру 20°C и выше (в поверхностном слое – 23°C). С глубины 3 м шло резкое падение температуры с градиентом в 5°C, а затем она плавно понижалась до 12°C в придонном слое. Следует обратить внимание на то, что температура 23°C не характерна вообще для естественных водоемов Беларуси для этого времени года, когда водная толща только начинает прогреваться после периода весенней циркуляции. По имеющимся многолетним наблюдениям [13], наивысшая температура 25,4°C фиксировалась в озере в естественном состоянии (до строительства станции) лишь в июле. В заливе около сбросного канала наблюдалась кислородная инверсия – в поверхностных слоях воды содержание кислорода составляло 6 мг/л, а на глубине 6 м – 7 мг/л.

В юго-восточной части озера (территория Беларуси), удаленной от сбросного канала, влияние теплых вод не ощущалось. Наблюдалось плавное понижение значений от 15–16°C на поверхности до 12–14°C в придонной части. Содержание кислорода составило от 6,6–6,8 мг/л в поверхностных слоях до 1,8–2,8 мг/л в придонных. Величина процентного насыщения на поверхности не превышала 70, а в придонной части 16–27.

С целью изучения воздействия ИАЭС на химический состав воды оз. Дрисвяты в 1989–91 гг. было проведено гидрохимическое исследование зоны сбрасываемых вод (восточная акватория) и наиболее удаленной части водоема (западная акватория). Компонентный состав воды определялся химическим методом, согласно принятой методике [5]. В анионном составе преобладают ионы HCO_3^- , относительное содержание которых изменяется в пределах 2,48–2,52 мг-экв/л. Концентрация ионов хлора составляет 0,35, а сульфатов – 0,31–0,32 мг-экв/л. В составе катионов доминирует кальций (1,82 мг-экв/л), далее следуют ионы магния (1,02), натрия (0,29–0,32), калия (0,08 мг-экв/л). Жесткость воды составила 2,84 мг-экв/л, а минерализация в "тепловом факеле" – 240,6 мг/л против 237,3 мг/л в западной части озера. Реакция воды слабощелочная, тип по О. Алекину [2] гидрокарбонатно-кальциевый. Содержание микрэлементов следующее, мкг/л: Mn – 1,6–1,7; Cu – 5,0–7,0; Pb – <1,0; Ni – 1,5–2,0; Bi – 0,5; Mo – 0,5; U – 0,5–0,6; Ti – 1,0–2,0; Cr – 0,5–0,8; Ba – 4,5–4,6; Sr – 1,4–1,6; Co – 0,5; Ag – 0,3; Zn – 10,0–13,0. В загрязненной зоне ИАЭС в воде отмечено незначительное увеличение концентрации Zn, Mn, Ba, Sr.

В соответствии с имеющимися данными [13] по состоянию на 1971 г., минерализация и жесткость воды озера находились в пределах 180–230 мг/л и 2,3–2,8 мг-экв/л соответственно, достигая значений свыше 200 мг/л и 2,5 мг-экв/л в зимний период года. В 1985 г. химический состав воды оз. Дрисвяты определялся следующими вели-

Таблица 1

Химический состав донных осадков оз. Дрисвяты, мг/кг

Микроэлемент	Содержание в точках опробования								Среднее в донных отложениях озер Белорусского Поозерья
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Ni	3	3	2	3	5	3	5	5	11,5
U	50	50	20	70	70	50	100	100	17,3
Mn	500	500	700	1000	1500	2000	500	1000	541,8
Ti	2000	1000	1000	2000	2000	1000	2000	2000	855,5
Cr	15	15	30	20	20	20	50	30	16,5
Pb	10	20	15	30	30	30	30	30	12,8
Zr	200	200	100	100	200	100	200	200	98,3
Nb	5	5	5	5	5	5	7	5	10,2
Cu	7	20	5	7	10	7	10	10	11,3
Ag	н.о.	н.о.	н.о.	1	1	1	1	1	10,0
Zn	30	300	30	70	100	70	100	200	788,4
Ge	1	1	1	1	1	1	1	2	2,3
Yb	3	2	2	3	5	3	3	3	1,9
Y	10	10	10	10	10	10	10	15	21,8
Ga	5	3	2	5	5	5	7	7	7,2
Sn	2	3	3	3	3	3	5	5	5,7
B	70	50	20	50	100	70	100	100	51,3

Примечание. Для всех точек: Mo < 1 (среднее по озерам Белорусского Поозерья 4,7 мг/кг), Bi < 1 (10,0), Ba < 100 (564,6), Sr < 30 (244,7), W < 3 (3,0 мг/кг).

чинами: Mg^{2+} – 0,46–0,48, Cl^- – 0,27–0,37, SO_4^{2-} – 0,42–0,49, HCO_3^- – 2,2–2,4, Ca^{2+} – 1,79–1,99 мг-экв/л; pH 7,8–8,0; минерализация 226,7–242,5 мг/л; жесткость 2,38–2,59 мг-экв/л (данные приведены по пункту контроля у д. Пашевичи [6]). Таким образом, за последние годы в водах оз. Дрисвяты произошло незначительное увеличение содержания некоторых ионов (например, HCO_3^- , Mg^{2+}), стала выше минерализация и жесткость. Проблема воздействия ИАЭС на химический состав вод водоема требует дальнейшего изучения.

Существенного радиоактивного загрязнения поверхностных и грунтовых вод не установлено. Тем не менее тенденция накопления радиоактивных элементов существует. Так, исследования по тритию в районе ИАЭС [10] выявили нарушения годового баланса по этому элементу в водах за счет станции (от 200 до 650 Кү в год, скорость инфильтрационного потока в зоне аэрации 120–800 мм/год).

Геохимическое исследование донных отложений. При эксплуатации АЭС в нормальном режиме должна быть обеспечена локализация основного количества радиоактивных продуктов в реакторной установке, системах спецводоочистки и спецгазоочистки. Предусмотрена герметичность парогенератора и трубопроводов первого контура реактора, вследствие чего радиоактивные продукты должны оставаться внутри его и концентрироваться на ионообменных фильтрах при переработке теплоносителя. В то же время, по нашим данным, гамма-активность донных осадков в зоне сброса отработанных вод ($5,0 \cdot 10^{-2}$ ки/кг) имеет почти двукратное превышение относительно остальной части субаквального ландшафта озера (1,5–3,5) и фона ($2,6 \cdot 10^{-9}$ ки/кг), что, очевидно, вызвано обнаруженными в 1992 г. техногенными радионуклидами (Co^{60} и Mn^{54}), которые привносятся в оз. Дрисвяты отработанными

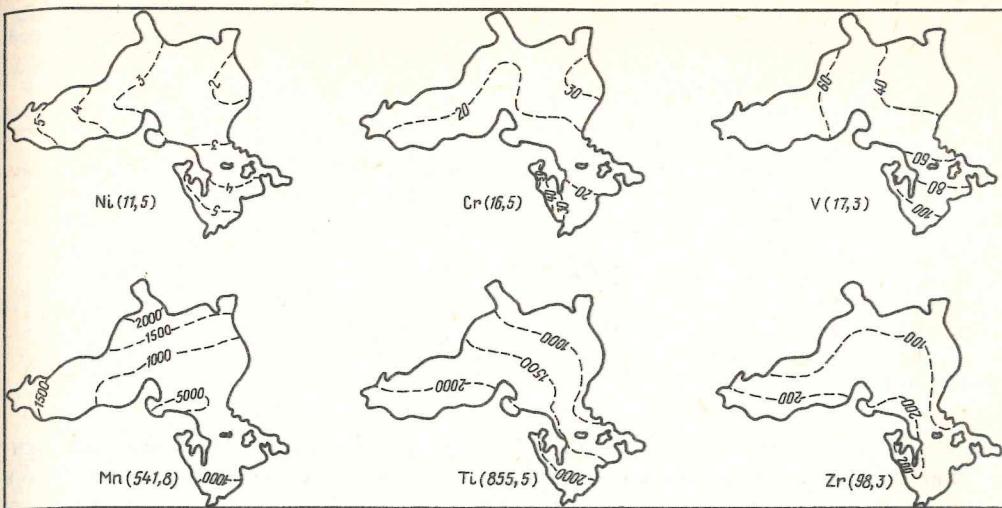


Рис. 5. Распределение Ni, Cr, U, Mn, Ti, Zr в донных осадках оз. Дрисвяты, мг/кг (м-б 1 : 200 000). В скобках – среднее для донных отложений озер Белорусского Поозерья

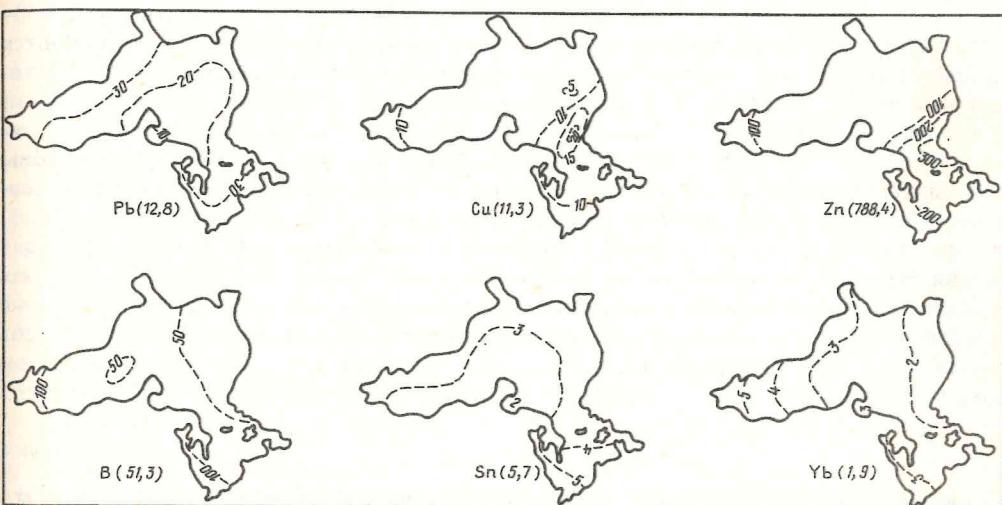


Рис. 6. Распределение Pb, Cu, Zn, B, Sn, Yb в донных осадках оз. Дрисвяты, мг/кг (м-б 1 : 200 000)

(нагретыми) водами со второго контура системы теплосъема энергетического блока станции. Другие радионуклиды (Cs^{137} , Sr^{90} , Th^{232} , Ra^{226}) находятся в пределах нормы и не превышают естественных величин.

Кроме долгоживущих радионуклидов типа Ra, Pu, Th, Pb предприятия топливного ядерного цикла являются потенциальными поставщиками в ландшафт и других элементов, в том числе и тяжелых металлов (Cr, Co, Zn, Mn и др.) [1]. Поэтому проведено геохимическое опробование донных осадков оз. Дрисвяты на содержание в них микроэлементов. Пункты отбора донных осадков размещены равномерно по площади озера на глубинах от 5 до 25 м. Глубина погружения пробоотборника в осадочный слой составляла 0,3–0,4 м. Отобранные смешанные (в каждом пункте) образцы исследованы на 39 элементов методом эмиссионного спектрального анализа. Судя по полученным результатам (табл. 1), содержание Mo, W, Ag, Y, Nb, Ge, Ba, Sr, Ni значительно ниже средних величин (рис. 5, 6). Концентрация остальных элементов находится либо в

Геохимические индексы проб

Номер точки	Местоположение относительно ИАЭС	Ассоциации			
1	Восток, 0,3 км (факел)	U(2,9)	Ti(2,3)	Zr(2,0)	B(1,4)
2	Восток, 1,6 км	U(2,9)	Zr(2,0)	Cu(1,8)	Pb(1,6)
3	Восток-северо-восток, 3 км	Cr(1,8)	Mn(1,3)	Ti(1,2)	Pb(1,2)
4	Запад-северо-запад, 3 км	U(4,1)	Ti(2,3)	Pb(2,3)	Mn(1,8)
5	Запад-северо-запад, 5 км	U(4,1)	Mn(2,8)	Ti(2,3)	Pb(2,3)
6	Север, 4 км	Mn(3,7)	U(2,9)	Pb(2,3)	B(1,4)
7	Юг-юго-восток, 2 км	U(5,8)	Cr(3,0)	Ti(2,3)	Pb(2,3)
8	Юг-юго-восток, 4 км	U(5,8)	Ti(2,3)	Pb(2,3)	Zr(2,0)
В целом по озеру		U(3,7)	Ti(1,9)	Pb(1,9)	Mn(1,8)

пределах среднего, либо выше (U, Mn, Cr и др.). Для каждой пробы рассчитаны геохимические индексы (отношение концентрации элемента к его среднему содержанию в донных осадках Белорусского Поозерья), где доминирующее положение в ассоциациях занимают ванадий, хром, свинец, марганец (табл. 2).

Педогеохимические исследования. Преобладание холмистого конечно-моренного рельефа с породами суглинистого состава определяет и характер почвенного покрова. Наиболее представительны дерново-подзолистые суглинистые разности (около 60–65%). Реже, в виде небольших пятен в межморенных понижениях, встречаются дерново-подзолистые песчаные, супесчаные, глеевые и глееватые, а также торфяно-болотные почвы. Поэтому при геохимическом опробовании почв (с глубины 0–10 см) предпочтение отдавалось первым. Метод определения содержания химических элементов тот же. Картографической обработкой аналитических данных выявлены геохимические аномалии для U, Ti, B, Co, Mn, Cr, Pb, превышающие фоновое содержание. Сопоставление полученных результатов с существующими ПДК (табл. 3) позволило обнаружить аномальные участки превышения по данным показателям для ванадия, бора, марганца, хрома. Возможно, это связано с работой ИАЭС. Однако для окончательной оценки степени загрязнения территории необходимы дополнительные исследования, основанные на постоянной сети мониторинга. Пока же можно лишь констатировать увеличение за последние годы содержания микроэлементов в верхнем почвенном горизонте, о чем говорит сравнение с данными до пуска АЭС [3].

Таблица 3

Содержание микроэлементов в верхнем горизонте почв (0–10 см) зоны влияния Игналинской АЭС, мг/кг

Элемент	Амплитуда колебаний в точках опробования	Среднее в почвах до пуска АЭС [3]	Среднее в почвах [4, 11, 12]	ПДК в почвах [7, 8, 14]
Co	<1–20	9,1	9	30
Cu	2–20	14,7	25	60
Mn	100–3000	1034,0	240	1500
Zn	<30–100	39,6	50	70
Mo	<1–2	1,1	2	4
B	10–70	23,5	10	30
U	5–150	33,7	45	50
Pb	7–30	18,3	10	30
Cr	6–140	49,1	50	100
Ni	1–20	15,0	33	50
Ti	700–7000	3350,0	1960	—
Zr	50–500	404,5	220	—

донных осадков оз. Дрисвяты

элементов

Mn(0,9)	Cr(0,9)	Pb(0,8)	Cu(0,6)	Nb(0,5)	Ni(0,3)
Ti(1,2)	B(1,0)	Cr(0,9)	Mn(0,9)	Nb(0,5)	Ni(0,3)
U(1,1)	Zr(1,0)	Nb(0,5)	Cu(0,4)	B(0,4)	Ni(0,2)
Cr(1,2)	Zr(1,0)	B(1,0)	Cu(0,6)	Nb(0,5)	Ni(0,3)
Zr(2,0)	B(1,9)	Cr(1,2)	Cu(0,9)	Nb(0,5)	Ni(0,4)
Cr(1,2)	Ti(1,2)	Zr(1,0)	Cu(0,6)	Nb(0,5)	Ni(0,3)
Zr(2,0)	B(1,9)	Mn(0,9)	Nb(0,7)	Cu(0,4)	Ni(0,4)
B(1,9)	Cr(1,8)	Mn(1,8)	Cu(0,9)	Nb(0,5)	Ni(0,4)
Zr(1,7)	Cr(1,5)	B(1,4)	Cu(0,8)	Nb(0,5)	Ni(0,3)

Радиационное обследование почв выявило мощность экспозиционной дозы в пределах 8–14 мкР/ч, что соответствует фону. В целом для этой части Беларуси характерна самая высокая естественная альфа- и гамма-активность за счет значительного распространения глинистых разностей [9]. Какого-либо существенного изменения радиационной обстановки в данном районе после аварии на ЧАЭС не выявлено.

Заключение

Проведенные исследования показали, что повторные космо- и аэросъемки в комплексе с геофизическими и геохимическими методами способны контролировать изменения окружающей среды, возникающие под воздействием ИАЭС. Субаквальные ландшафты, принимающие отработанные теплые воды станции, испытывают прогрессирующее техногенное влияние, что не может не сказать на озерной биоте. Состояние загрязненной зоны уже можно рассматривать как напряженное: содержание радионуклидов здесь выше по сравнению с фоном. Выявленные тектонически активные зоны могут способствовать увеличению площади загрязнения через систему подземных и поверхностных вод. В почвенном покрове обнаружены отдельные участки с повышенным содержанием хрома, бора, ванадия, марганца и др. Таким образом, подтверждается необходимость развертывания постоянной сети наблюдений как в зоне действия ИАЭС, так и других станций (Смоленской, Чернобыльской, Ровенской), близко расположенных к территории Беларусь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
- Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1953. 296 с.
- Базовое состояние зооценозов суши в ландшафтах региона Игналинской АЭС. Вильнюс: Мокслас, 1989. 215 с.
- Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
- Геохимическое изучение ландшафтов Березинского биосферного заповедника. Минск: Наука и техника, 1985. 144 с.
- Государственный водный кадастров. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши. Т. 3 (3). Бассейны рек Белорусской ССР. 1985. 379 с.
- Kloke A. Contents of As, Cd, Cr, Pb, Hg and Ni in Plants Grown on Contaminated Soil // Papers Presented to the Symposium on the Effects of Air-born Pollution on Vegetation – Warszawa. 1980. B. 109. N. 81. S. 192.
- Ковалевский В.В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. 298 с.
- Лукашев В.К., Лосева Е.И. Естественная радиоактивность покровных отложений и почв Белоруссии // Геохимическое изучение ландшафтов Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1984. С. 37–42.

10. Мажейка И., Пястроюс Р. Нарушение баланса трития в водоеме-охладителе Игналинской АЭС – оз. Друкшя // Проблемы экологической геологии в Прибалтике и Белоруссии. Вильнюс: ЛитНИГРИ, 1990. С. 111–114.
11. Малюга Д.П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 214 с.
12. Петухова Н.Н. Геохимия почв Белорусской ССР. Минск: Наука и техника, 1987. 231 с.
13. Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озер и расчеты основных характеристик их режима. Т. 5. Белоруссия и верхнее поднепровье. Ч. 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 1108 с.
14. Рыбальский Н.Г., Жакетов О.Л., Ульянова А.Е., Шепелев Н.П. Экологические аспекты экспертизы изобретений. Т. 1. ВНИИПИ, 1989. 450 с.
15. Юкнялис И., Марцинкевичюс В., Шештокас И., Шляупа А. Разломы района Игналинской АЭС // Проблемы экологической геологии в Прибалтике и Белоруссии. Вильнюс: ЛитНИГРИ, 1990. С. 194–197.

Белорусский научно-исследовательский центр "Экология"

Институт геологических наук
АН Беларусь
Белорусский государственный университет,
г. Минск

Поступила в редакцию
22.XII.1994

После доработки
20.II.1995

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология

5 • 1997

УДК 502.7:624.131:628

© 1997 г. И.Г. КАЗАКОВА, О.В. СЛИНКО

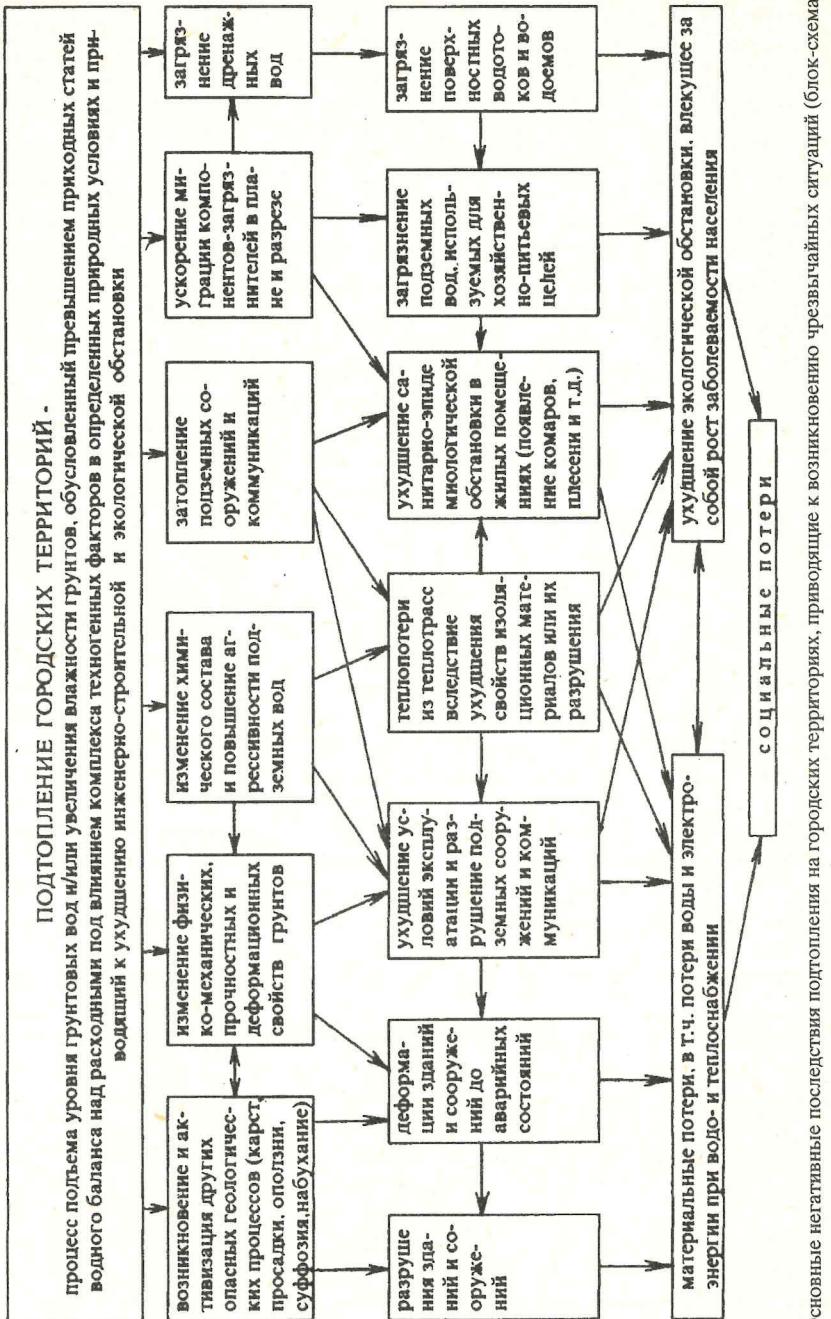
ОПАСНОСТЬ И ХАРАКТЕР НЕГАТИВНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРИ ПОДТОПЛЕНИИ ГОРОДОВ

Выявлены причины возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) при развитии подтопления в городах, кроющиеся в недостатках градостроительной деятельности на всех ее этапах, начиная с инженерно-геологических изысканий для строительства и заканчивая эксплуатацией территорий. Разработана типизация природных условий гидрогеологических районов застроенных территорий, вероятность возникновения ЧС на которых наиболее высока при существующих городских техногенных нагрузках. Предлагаются необходимые меры для предупреждения возникновения ЧС при подтоплении как на новых застраиваемых, так и на застроенных и давно эксплуатируемых территориях.

Основные направления градостроительной деятельности и требования к обоснованию предпроектной градостроительной документации, изложенные в Законах РФ [7–9], предусматривают экологически безопасное развитие застроенных территорий и защиту их от опасных природных и техногенных процессов. Один из наиболее опасных и распространенных процессов в России – подтопление [5], ежегодный экономический ущерб от которого исчислялся уже в 1990 г. многими миллиардами рублей.

В настоящее время в той или иной мере подтоплены практически все города и тысячи населенных пунктов. Только за 10 лет (с 1983 по 1993 г.) площади подтопленных застроенных территорий удвоились, и процесс продолжает развиваться. Это развитие заключается не только в увеличении площади его распространения, но и в качественном изменении природно-техногенной обстановки. Подтопление часто является первопричиной многих "неожидаемых" отрицательных проявлений на застроенной территории; именно этим оно особенно опасно. Спектр негативных последствий подтопления чрезвычайно разнообразен – от деформаций и разрушений зданий и коммуникаций до ухудшения, иногда катастрофического, экологической обстановки и роста заболеваемости населения. Подтверждением тому служат многочисленные факты. Вот некоторые из них, наиболее характерные.

На территории только одного районного центра Калмыкии [13], подтопленного на 70%, по результатам обследования 1990 г. были зафиксированы деформации 520 домов частной застройки и трещины в стенах почти всех двух-трехэтажных каменных зданий (гостиница, банк, школа-интернат, аптека, детский сад и др.); на трассах водонесущих коммуникаций фиксировалось до 130 аварий в год. При обследовании 100 зданий и сооружений Молдавии [1], подвергшихся деформациям в 1987 г., оказалось, что главной их причиной явилось техногенное изменение гидрогеологических условий. 70% объектов пострадало в результате деформаций грунтов оснований, вызванных подтоплением: 50% из них – за счет локального замачивания лёссовых просадочных грунтов, 20% – за счет замачивания глинистых оснований. Остальные объекты пострадали в результате активизации оползней также за счет обводнения территории. В г. Волгодонске для 733 жилых и общественных зданий города (84% от их общего числа) не гарантирована эксплуатационная надежность. Каждый год выявляется от 10 до 20 объектов со сверхнормативными деформациями. На 01.01.1996 г. зафиксировано



Основные негативные последствия подтопления на городских территориях, приводящие к возникновению чрезвычайных ситуаций (блок-схема)

89 таких объектов. Помимо этого требуется ремонт и/или перекладка около 100 погонных км магистральных и внутримикрорайонных водонесущих коммуникаций. По данным института "Горпроект" г. Волгодонска, экономический ущерб от подтопления и его негативных последствий по состоянию на 01.01.1996 г. превысил 2 трил. рублей. В г. Туле постоянно или сезонно затапливаются подвалы и технические подполья большинства зданий, например, в центральной части города постоянно затоплено 30, не говоря уже о всех трассах подземных коммуникаций. В Нижнем Новгороде в Заречной части в 1978 и 1979 гг. с мая по июль в зоне жилой застройки наблюдался подъем уровня грунтовых вод и затопление ими подвалов и технических подпольй, колодцев и трасс подземных коммуникаций на 18 улицах. При интенсивных откатах воды из затопленных смотровых колодцев канализационных сетей произошел непредвиденный вынос песка с прилегающего пространства и на улицах образовались провалы глубиной 1–1,5 м.

Рост агрессивности и загрязнения грунтовых вод с развитием подтопления уже ни для кого не является секретом [2, 6, 12, 13, 16]. Так, результаты исследований содержания сульфат-иона в подземных водах на подтопленных территориях сельской части г. Волгодонска [6] (так же, как и аналогичные исследования в других городах) выявили закономерности изменения степени агрессивности грунтовых вод во времени от особенностей их формирования и режима и показали, что миграция химических компонентов этих солей происходит в слабопроницаемых грунтах даже при низкой природной влажности, не говоря уже об активном воздействии вод, связанном с потерями из водоводов, очистных сооружений, отстойников, полей фильтрации и т.д. Во многих городах трассы водонесущих коммуникаций, затопленные подземными водами с сильной сульфатной агрессией и высоким содержанием органики, подвержены активному разрушению. На водопроводных и канализационных сетях, особенно проложенных непосредственно в грунте на глубине 2–3 м, наблюдается от нескольких десятков до сотен аварий в год. Требуется частая замена труб (через 3–5 лет десятки погонных километров). Огромны тепло- и водопотери по всем затопленным теплотрассам и водопроводным сетям, а следовательно, велики и энергопотери в целом по городу, особенно в зимний период. В жилых помещениях с постоянно подтопленными подвалами появились устойчивые популяции домового комара и плесени, увеличилась заболеваемость населения, особенно детей, у многих обострились хронические болезни; в связи с загрязнением системы питьевого водоснабжения участились вспышки брюшного тифа и других инфекционных заболеваний; происходит угнетение растительности в связи со вторичным загрязнением почвогрунтов и т.д.

Таким образом, на подтопленных застроенных территориях стали складываться такие ситуации, которые требуют безотлагательных мер по их ликвидации, т.е. чрезвычайные ситуации (ЧС) [17]. Риск возникновения этих ситуаций и острота проблемы наиболее высоки в городе, точнее, в крупном городе, где наиболее интенсивно сочетание концентрации населения и источников техногенного, зачастую вредного воздействия.

Чрезвычайная ситуация при подтоплении городов – это обстановка, сложившаяся в результате техногенного изменения гидрогеологических условий городской территории, характеризующаяся значительными экономическими, социальными и экологическими последствиями, которые влекут за собой ущерб здоровью людей и окружающей среде. Основные негативные последствия подтопления, приводящие к возникновению ЧС на городских территориях, впервые представлены в блок-схеме (рисунок).

Несмотря на то, что последствия подтопления разнообразны и взаимосвязаны, характер проявления ЧС на застроенных территориях существенно различен. Например, на некоторых из них подъем подземных вод и затопление ими (сезонное или постоянное) заглубленных частей зданий, сооружений, трасс подземных коммуникаций не вызывает сначала особых беспокойств и затруднений при эксплуатации, но со временем негативные последствия подтопления и их тяжесть увеличиваются практически

в геометрической прогрессии, причем на значительных площадях. Так, влияние сформировавшихся при подтоплении высокоагрессивных грунтовых вод приводит к постепенному разрушению фундаментов зданий и сооружений, коррозии металлоконструкций, более интенсивному старению и разрушению подземных трубопроводов и коммуникаций. Возрастающие при этом потери из водонесущих коммуникаций приводят к возникновению или активизации супфазионных, оползневых, карстовых и других опасных процессов. Кроме того, на загрязненных территориях при развитии подтопления происходит ускорение миграции компонентов-загрязнителей и создаются более благоприятные условия их попадания в подземные и поверхностные воды, являющиеся источниками хозяйственно-питьевого водоснабжения. В жилых домах с постоянно затопленными подвалами наблюдается не только ухудшение условий проживания людей, но и повышение их заболеваемости. Отдельные районы индивидуальной застройки становятся вовсе непригодными для проживания.

На других территориях негативные последствия подтопления проявляются одновременно с возникновением и развитием процесса. В этом случае отрицательные последствия заключаются во "внезапных" деформациях фундаментов и конструкций зданий и сооружений до аварийных состояний, разрушении подземных коммуникаций и т.п., что обусловлено резким изменением физико-механических, прочностных и деформационных свойств грунтов, в основном просадочных и набухающих, при увлажнении и замачивании во время строительного освоения территории и эксплуатации некоторых объектов.

Различия в механизме возникновения и проявлении ЧС обусловливаются принципиальными отличиями двух гидрогеологических схем развития подтопления на застроенных территориях [4]. Установлено, что подтопление во всех случаях возникает при наличии техногенной нагрузки и зависит от ее интенсивности, но развивается по-разному в зависимости от режима, условий развития и характера распространения подземных вод.

По схеме 1 подтопление развивается вследствие подъема уровня подземных вод первого от поверхности безнапорного водоносного горизонта, который испытывает существенные сезонные и многолетние колебания, на территориях, где этот уровень расположен на глубине 10–15 м.

По схеме 2 подтопление развивается вследствие увлажнения грунтов зоны аэрации и/или формирования нового техногенного водоносного горизонта с подъемом его уровня на территориях, где подземные воды распространены спорадически или вовсе отсутствуют до кровли подстилающего водоупора либо уровень первого от поверхности водоносного горизонта залегает на глубине более 10–15 м.

Выявленные принципиальные отличия в развитии подтопления предопределяют специфику и методическую направленность изысканий, которые обеспечивают оценку и прогноз изменений гидрогеологических условий, позволяют не только предвидеть характер негативных последствий, но и количественно оценить опасность возникновения и развития процесса уже на предпроектных стадиях градостроительства.

Сложившаяся в стране, можно уже сказать, катастрофическая обстановка с подтоплением обусловлена исключительно недостатками градостроительной деятельности на всех ее этапах, начиная с инженерно-геологических изысканий для строительства и заканчивая эксплуатацией территорий. Рассмотрим последовательно для каждого этапа основные из этих недостатков.

Инженерные изыскания для строительства достаточно подробно проанализированы в работах [10, 11, 16]. Но следует еще раз отметить, что с точки зрения рассматриваемой проблемы их главный недостаток заключается в том, что существующие нормативные документы, регламентирующие инженерно-геологические изыскания (в состав которых входят и гидрогеологические исследования), предусматривают эти изыскания и исследования только в "сфере взаимодействия зданий и сооружений с геологической средой" [15]. Специфика подземной гидросферы при этом не учитывается, что не обеспечивает необходимой степени гидрогеологической изученности

объекта исследований в целом как сложной природно-техногенной системы, внешние гидродинамические границы которой не совпадают, как правило, с границами изысканий. Это, в свою очередь, приводит к тому, что прогноз изменений гидрогеологических условий или не выполняется вовсе, или выполняется без учета влияния внешних режимообразующих факторов; проектируемые же защитные мероприятия по ликвидации и предотвращению подтопления чаще всего направлены на борьбу со следствиями, а не с основными причинами возникновения и развития процесса.

Недостатки изысканий и, соответственно, ошибки при проектировании нередко приводят к ЧС уже в начале строительного освоения территории (например, площадка "Атоммаш" и г. Волгодонск). В итоге возникает необходимость в дополнительных затратах по разработке: а) "ужесточенных" форм проектирования строительства в "особых условиях" в сжатые сроки; б) проектов восстановительных работ по повышению эксплуатационной надежности зданий, сооружений, подземных коммуникаций и, как следствие, выполнение дополнительных объемов строительных и монтажных работ в короткие сроки.

Другими недостатками при проектировании являются расхождения и несогласованность в трактовке нормативов и рекомендаций между различными субподрядными организациями, привлекаемыми к проектированию одного объекта. Например, проектирование "Атоммаша" и г. Волгодонска осуществлялось 53 организациями.

Недостатки при строительстве, приводящие к развитию подтопления и возникновению чрезвычайных ситуаций, следующие:

низкое качество строительно-монтажных работ;

применение устаревших или не приспособленных для эксплуатации в данных природных условиях типовых сборных конструкций;

нарушение условий поверхностного стока и систем отведения дождевых и талых вод;

выполнение работ нулевого цикла, прокладки инженерных сетей и вертикальной планировки в неблагоприятное время года (например, в период выпадения дождей или таяния снега);

низкое качество строительства непосредственно водонесущих коммуникаций, ввода и выпуска водонесущих сетей в подвалы и технические подполья зданий;

повреждение в процессе строительства (в основном при выполнении засыпок траншей) самотечных трубопроводов, изготовленных из хрупких материалов.

Кроме того, существенным недостатком является то, что при новом строительстве микрорайоны жилой застройки или отдельные объекты сдаются в эксплуатацию в разные сроки. В каждом из них действуют внутренние системы инженерного обеспечения с выводом коммуникаций на головные сооружения, строительство которых зачастую ведется с отставанием. В этом случае пусковые объекты приходится сдавать по временным схемам, что неизбежно приводит к большому числу непрогнозируемых и не контролируемых службой эксплуатации аварийных утечек, усугубляющихся еще и низким качеством строительства.

Помимо этого, основные недостатки при эксплуатации, приводящие к подтоплению территорий и возникновению на них ЧС, сводятся к следующему: отсутствие контроля как за утечками воды и промстоков из трубопроводов, так и за эффективностью работы дренажных сооружений; нарушение сроков ремонта подземных коммуникаций, в том числе водонесущих, которые, находясь в затопленном состоянии, разрушаются гораздо раньше, чем это предусматривается нормами эксплуатации. Также не организуются и не выполняются стационарные гидрогеологические наблюдения за режимом подземных вод, хотя они и предусматриваются проектами.

На городских территориях, эксплуатируемых после застройки более 10 лет, когда, казалось бы, ничего не предвещает неприятностей, также возможны ЧС. Они возникают при недооценке следующих важных обстоятельств, приводящих к неожиданному ранее возникновению или активизации подтопления как техногенного гидрогеологического процесса:

влияние природных режимообразующих факторов при их обеспеченности менее 50%;

увеличение влияния существующих или создание новых внешних гидродинамических границ как городской территории в целом, так и отдельных ее районов (строительство или реконструкция водохранилищ, каналов, оросительных систем, крупных водопотребляющих производств, регулирование поверхностного стока и др.);

увеличение влияния техногенных нагрузок при застройке или реконструкции в контурах внешних гидродинамических границ района городской территории.

Следует отметить, что на подтопляемых городских территориях существующие защитные мероприятия служат, как правило, для ликвидации и предупреждения отдельных объектов¹ и не рассчитаны на непредвиденные дополнительные нагрузки, которые и приводят к возникновению ЧС в городе.

Анализ причин, возможностей возникновения подтопления, а также недостатков производства работ на всех этапах градостроительной деятельности, приводящих к "неожидаемому" развитию процесса и его последствий на городских территориях, позволяет достаточно обоснованно подойти к оценке опасности развития подтопления и риска возникновения чрезвычайных ситуаций.

Риск возникновения ЧС – вероятность поступления определенного ущерба. Критерием предлагается считать затраты, требуемые на немедленную ликвидацию негативных последствий подтопления, которые превышают возможности местного бюджета. Для предотвращения причин возникновения такого ущерба и его ликвидации требуется на всех стадиях проектирования, строительства и эксплуатации объекта разрабатывать организационные и технические мероприятия, на основе фактических количественных оценок опасности развития процесса в определенных природно-техногенных обстановках.

Масштабы распространения подтопления и прогрессирующее развитие процесса в различных природных условиях и при различных техногенных нагрузках предопределили необходимость разработки единого критерия опасности этого процесса. Таким критерием, по нашему мнению, является площадная пораженность застроенной территории подтоплением. Она определяется коэффициентом пораженности K_p [3, 5].

Значения K_p проанализированы нами по 780 городам России, срок эксплуатации застройки которых превышает 10 лет. По многим городам прослежена информация по развитию подтопления за период 1983–1993 гг., что позволило выяснить, в каких населенных пунктах процесс стабилизировался, а в каких нет и по какой причине.

Ретроспективный анализ изменений гидрогеологических условий городов под действием изменяющейся техногенной нагрузки показал непосредственную связь этих изменений с коэффициентом пораженности K_p . При этом выделены три группы территорий по пораженности: очень опасная ($0,8 \leq K_p \leq 1$), опасная ($0,3 \leq K_p < 0,8$), слабоопасная ($K_p < 0,3$).

Кроме того, на основе анализа и обобщения огромного фактического материала об изменениях гидрогеологических условий при подтоплении нами создана картографическая модель подтопления территории России в масштабе 1:5 000 000 и разработана методика оценки опасности развития подтопления на региональном уровне для каждой из двух различных гидрогеологических схем развития процесса на застраиваемых территориях в зависимости от сочетания физико-географических, гидрологических, геоморфологических, геологических и гидродинамических условий [3, 5, 14]. При анализе условий развития подтопления по категориям опасности становится очевидно, что возникновение ЧС на застроенных территориях наиболее вероятно при сочетаниях природных условий, характеризующихся опасной и очень опасной категориями. Примером тому служат фактические данные по площадной пораженности

подтоплением множества городов, расположенных в различных природных условиях. Согласно картографической модели подтопления территории России, выявлено, что наиболее опасными с точки зрения подтопления являются территории, застроенные и застраиваемые в пределах площадей распространения:

– водоупорных пород, выходящих на поверхность (в основном глин различного генезиса мощностью более 3–5 м) – гидрогеологическая провинция VIII²;

– суглинков лёссовидных с прослоями погребенных почв и водами спорадического распространения – гидрогеологическая провинция VI;

– водоносных комплексов песчано-глинистых четвертичных и плиоцен-четвертичных отложений различного генезиса – гидрогеологическая провинция V.

Более 90% подтопленных городов, расположенных в указанных гидрогеологических условиях, имеют высшие категории опасности. Так, в пределах гидрогеологической провинции V нами выявлено 44 подтопленных населенных пункта, принадлежащих восьми разным административным подразделениям с различными климатическими условиями и техногенными нагрузками (10 населенных пунктов Калмыкии, 14 – Омской области, 6 – Курганской и т.д.). К очень опасной и опасной категориям относится 96% от общего числа рассматриваемых населенных пунктов. В пределах гидрогеологической провинции VI выявлено 85 подтопленных населенных пунктов, расположенных в 13 административных подразделениях (в Краснодарском крае – 10, Ставропольском – 7, Ростовской области – 15, Курганской – 13, Омской – 10, Калмыкии – 11 и т.д.). 92% из них относятся к высшим категориям опасности (60% – к очень опасной, 32% – к опасной). В пределах гидрогеологической провинции VIII рассмотрено 38 подтопленных населенных пунктов из 8 административных подразделений (Ставропольский край – 18, Калмыкия – 5, Самарская область – 5 и т.д.). 98% из них относятся к высшим категориям опасности, причем к очень опасной – 88%.

В других гидрогеологических провинциях иное соотношение подтопленных городов с различными K_p . Так, в пределах площадей распространения аллювиальных отложений в долинах рек (гидрогеологическая провинция I) в 17 административных подразделениях выявлено 73 подтопленных города. К высшим категориям опасности принадлежат 73% из них, причем к очень опасной – 23%, опасной – 50%. В пределах площадей распространения водоносных комплексов трещинных, трещинно-карстовых и трещинно-пластовых безнапорных вод (гидрогеологическая провинция III) из 40 подтопленных городов только 5% относятся к очень опасной категории, 50% – к опасной, а 45% – к слабоопасной.

На основании опыта гидрогеологических исследований на многочисленных подтопленных городских территориях разработаны принципы сквозного гидрогеологического районирования по особенностям режима подземных вод, определяющим специфику развития подтопления не только на региональном, но и на локальном уровне [3]. На региональном выделяются гидрогеологические зоны, подзоны и, как уже упоминалось выше, провинции. На локальном – в пределах внешних гидродинамических границ любой городской территории выделяются гидрогеологические районы. Их может быть от 1 до 5–7. Наиболее характерными гидродинамическими границами этих районов являются: водотоки как с регулируемым, так и с нерегулируемым стоком с различными колебаниями уровня; водохранилища сезонного и многолетнего регулирования; водоемы и магистральные каналы постоянного и сезонного наполнения; орошающие массивы; контуры постоянно действующих водопонизительных систем; контуры выклинивания водоносных горизонтов и их водоупоров и т.д.

В случае, если режим подземных вод на территории города не изучался, гидрогеологические районы рекомендуется выделять по типам геоморфологического рельефа и гидрогеологического разреза, поскольку по этим признакам достаточно четко

² Всего на картографической модели подтопления территории России в масштабе 1:5 000 000 вне области распространения многолетнемерзлых пород по обобщенным типовым гидрогеологическим разрезам выделено восемь провинций [3].

¹ Для территорий некоторых городов разработаны детальные схемы инженерной защиты, но ни одна из них полностью не реализована.

Таблица 1

Характеристика природных условий, определяющих наиболее опасное развитие подтопления и возникновение чрезвычайных ситуаций в типовых гидрогеологических районах городской территории, где подтопление развивается по принципиальной схеме 1

Особенности типового гидрогеологического района, определяющие специфику развития подтопления	Характеристика типового гидрогеологического района			
	1	2	3	4
Тип рельефа	Пойма (низкая и высокая), I и II надпойменные террасы	III и IV надпойменные террасы (аккумулятивные и эрозионно-аккумулятивные)	Склоны и поверхности водоразделов (пологохолмистый рельеф)	Ровные и слабонаклонные поверхности разного возраста и генезиса
Тип разреза	Аллювиальные отложения – пески разнозернистые с линзами супесей, суглинков, глин или суглинки, супеси глины с прослойками песка	Аллювиальные суглинки, залегающие на песках с галькой и гравием	Суглинки пролювиальные, делювиальные и другие в подошве могут залегать более проницаемые породы	Озерные, озерно-аллювиальные, морские и другие четвертичные и плиоцен-четвертичные отложения, представленные суглинками, супесями, глинами с прослойками и линзами песков
Водоупорные породы, в которых могут быть "окна"				
Характер обводненности разреза и особенности режима подземных вод	Водоносный горизонт с глубиной залегания подземных вод:			
	до 8–10 м	до 5 м	от 1 до 7 м и более	от 1 до 3–5 м
Максимальные амплитуды сезонных колебаний уровня подземных вод				
	от 0 до 5–10 м	до 10–15 м	до 10–15 м	до 2–3 м
Главные факторы, влияющие на режим подземных вод и развитие подтопления	Колебания уровня в водотоках	Колебания уровня в водоемах и водотоках	Инфильтрация атмосферных осадков и техногенных вод. Изменение интенсивности влияния внешних и внутренних гидродинамических границ. Изменение условий поверхностного и подземного стока	Гидравлическая связь с нижележащим водоносным горизонтом через "окна" в водоупоре (питание и разгрузка). Инфильтрация атмосферных осадков и техногенных вод.

различаются условия формирования режима подземных вод, определяющие специфику развития подтопления.

Поскольку характер ЧС зависит целиком от этой специфики, а принципиальные различия в механизме возникновения ЧС обусловливаются особенностями гидрогеологических схем развития подтопления, типизация природно-техногенных обстановок разработана нами для гидрогеологических районов городских территорий дифференцированно для двух этих схем. В результате из всего многообразия форм и условий

Таблица 2

Характеристика природных условий, определяющих наиболее опасное развитие подтопления и возникновение чрезвычайных ситуаций в типовых районах городской территории, где подтопление развивается по принципиальной схеме 2

Особенности типового гидрогеологического района, определяющие специфику развития подтопления	Характеристика типового гидрогеологического района		
	1	2	3
Тип рельефа	Поверхности и склоны структурно-денудационных плато, водораздельных пространств предгорных эрозионно-аккумулятивных равнин; древние террасы плиоцен-четвертичного возраста; III и IV террасы современных речных долин; ровные и слабонаклонные аккумулятивные равнины; расчлененные мелкой речной сетью, балками, оврагами.		
Тип разреза	Лессовидные суглинки, обладающие просадочными свойствами, с мощностью просадочной толщи от 10 до 30–35 м	Суглинки, в основном лессовидные, обладающие просадочными свойствами, мощностью до 10–15 м, залегающие на проницаемом слое	Глины различного генезиса с активно проявляющимися процессами набухания и усадки
Водоупорные породы			
Характер обводненности разреза	Подземные воды имеют спорадическое распространение в суглинках на более плотных их разностях или вовсе отсутствуют до кровли водоупора	K проницаемому слою может быть приурочен безнапорный водоносный горизонт	Подземные воды имеют спорадическое распространение в верхней трещиноватой и выветрелой зоне коренных пород, а также могут быть приурочены к линзам и прослойям песков; глины практически не содержат гравитационную воду и являются верхним водоупором нижележащих водоносных горизонтов
Главные факторы, влияющие на формирование техногенного водоносного горизонта и развитие подтопления	Инфильтрационное питание (естественное и техногенное). Неоднородность фильтрационных свойств слабопроницаемых грунтов зоны аэрации в плане и разрезе. Изменение интенсивности влияния внешних и внутренних гидродинамических границ. Изменение условий поверхностного стока Питание напорными водами из нижележащего водоносного горизонта через "окна" в водоупоре	Разгрузка подземных вод в проницаемый слой	Техногенный водоносный горизонт с общей уровневой поверхностью не формируется: подтопление имеет локальный характер

развития подтопления на застроенных территориях, расположенных в различных регионах европейской части РФ, выделено семь типовых гидрогеологических районов (четыре для схемы 1 и три для схемы 2), на которых наиболее высока вероятность возникновения ЧС при существующих городских техногенных нагрузках (табл. 1 и 2).

Характерными примерами возникновения ЧС служат обстановки, складывающиеся на подтопленных территориях Тулы, Нижнего Новгорода, Краснодара, а также Волгоградска, Набережных Челнов, городов и поселков Калмыкии и многих других.

Для оценки опасности возникновения ЧС на той или иной городской территории следует знать как причины возникновения самого процесса подтопления, так и особенности его развития. Важно также учитывать, на какой стадии освоения находится данная территория – застроенная она и давно эксплуатируемая или только застраивается. Анализ фактического материала многочисленных подтопленных территорий показал, что следует различать опасность возникновения и развития подтопления на застраиваемой и планируемой к застройке территории как возможность возникновения и развития процесса в определенное время в определенной природно-техногенной обстановке (характеризуется скоростью и временем развития процесса до определенной площади) и опасность подтопления застроенной территории как способность процесса вызывать негативные последствия и наносить ущерб, размеры которого дифференцированы по площади и во времени в зависимости от типов и интенсивности техногенной нагрузки (характеризуется коэффициентом пораженности застроенной территории подтоплением K_p и размером ущерба³).

Выводы

1. В настоящее время подтопление застроенных и застраиваемых территорий и возникновение на них ЧС обусловлено исключительно недостатками градостроительной деятельности на всех ее этапах, когда недостаточно учитывается (или не учитывается вовсе) специфика объекта исследований как техногенной гидрологической системы.

2. Для того чтобы избежать недостатков при новом строительстве, предлагается при разработке новых нормативных документов на инженерные изыскания для строительства предусмотреть специфику их производства на подтопляемых территориях, а также прогнозы изменения гидрологических условий, а следовательно, и прогнозы возникновения и развития подтопления с оценкой экологической опасности уже на предпроектных стадиях, поскольку принципиальные решения при проектировании, определяющие конструктивные особенности зданий и сооружений инженерную подготовку территорий и их эксплуатацию, должны заранее учитывать опасность подтопления. Для обоснования этого и выделены типовые районы городских территорий по гидрологической специфике развития подтопления, где возникновение ЧС наиболее вероятно (см. табл. 1 и 2).

3. Для предупреждения ЧС при подготовке застроенных и давно эксплуатируемых территорий необходимо выполнение следующих условий:

- соблюдение норм эксплуатации территории (контроль за утечками, своевременный ремонт коммуникаций и т.п.);
- оценка опасности подтопления в различных гидрологических районах городской территории при существующих техногенных нагрузках и разработка необходимых защитных мероприятий;

- реконструкция территории только с учетом гидрологической специфики и опасности развития подтопления под влиянием проектируемой техногенной нагрузки;

- организация комплексного мониторинга изменений природно-техногенной обстановки города.

4. Для успешной ликвидации ЧС при подтоплении городской территории необходима также разработка специальных методических рекомендаций для предлагаемых типовых природно-техногенных обстановок.

5. Приведенные гидрологические подходы к изучению природных условий подтопляемых городских территорий, их типизация, оценка опасности возникновения и развития процесса и его характерных негативных последствий определяют направленность исследований при разработке методики оценки ущерба от подтопления, а также служат обоснованием новых нормативных документов на инженерные изыскания для строительства и основной оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций при подтоплении городов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архангельский И.В. Оценка деформативности грунтов оснований при техногенных воздействиях на геологическую среду // Геоэкология. 1995. № 4. С. 118–132.
2. Галицкая И.В. Мониторинг техногенных изменений состава подземных вод на застраиваемых территориях // Тез. докл. Всерос. конф. "Экологический мониторинг в условиях радиационного и химического загрязнения окружающей природной среды". Челябинск, 1993. С. 8–10.
3. Казакова И.Г. Методика гидрологических исследований для обоснования региональных схем инженерной защиты от подтопления: Автотеф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. М.: ПНИИС, 1995. 26 с.
4. Казакова И.Г., Слинко О.В. Принципиальные гидрологические схемы развития подтопления на застроенных территориях // Геология и разведка. 1996. № 2. С. 89–95.
5. Казакова И.Г., Слинко О.В. Проблема подтопления на территории России и возможные пути ее решения // Геоэкология. 1993. № 1. С. 43–50.
6. Назаренко В.С., Коробкин В.И. Динамика агрессивности свойств грунтов г. Волгоградска // Геоэкология. 1995. № 6. С. 33–41.
7. Об основах градостроительства в Российской Федерации. Закон РФ от 14 июня 1992 г. // Ведомости Съезда нар. деп. РФ и ВС РФ 1992. № 32. Ст. 1877.
8. Об охране окружающей природной среды. Закон РФ от 19 декабря 1991 г. // Ведомости Съезда нар. деп. РФ и ВС РФ. 1992. № 10. Ст. 457.
9. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Закон РФ от 11 ноября 1994 г. М.: Госдума, 1994. 26 с.
10. Рац М.В., Слинко О.В. О статусе инженерно-гидрологических изысканий // Проектирование и инж. изыскания. 1985. № 6. С. 35–38.
11. Слинко О.В., Казакова И.Г. О нормативной базе гидрологических исследований в инженерных изысканиях для строительства и защиты территорий от подтопления // Инж. геология. 1992. № 1. С. 90–96.
12. Слинко О.В., Казакова И.Г. О разработке комплексного обоснования генеральных схем инженерной защиты территорий с учетом их радиоактивного и химического загрязнения // Геология и разведка. 1995. № 2. С. 107–114.
13. Слинко О.В., Казакова И.Г., Ратиев А.Я. Инженерно-гидрологическое обоснование защиты территорий населенных пунктов Калмыкии от подтопления // Геоэкология. 1993. № 3. С. 37–43.
14. Слинко О.В., Казакова И.Г. Типизация природных условий территории России по степени опасности подтопления и концепция ее инженерной защиты // Геология и разведка. 1994. № 2. С. 95–100.
15. СНиП 1.02.07–87. Инженерные изыскания для строительства. М.: Стройиздат, 1987.
16. Хайме Н.М., Слинко О.В. Экологические проблемы инженерных изысканий // Проект. 1993. № 5–6. С. 254–256.
17. Kazakova I.G., Slinko O.V. Typification of natural-technogenic environments for ecological estimating hazard during the underflooding of urban territories // 2nd Internat. Congr. "Water: Ecology and Technology" ECWATEC-96, Moscow, 17–21 September 1996. Abstr. V. 2. 1996. P. 381–382.

ПНИИС

Поступила в редакцию
1.XI.1996

³ Например, оценка экономического ущерба выполнена нами для 52 подтопленных населенных пунктов Калмыкии; при этом полученные данные по оценке ущерба хорошо согласуются с данными по площадной пораженности этих населенных пунктов подтоплением [13].

УДК 624.131

© 1997 г. О.И. КУПАЛОВ-ЯРОПОЛК, Н.В. ЛУКИНА, Л.В. ЖЕМЕРИКИНА,
В.М. ШВЕЦ

О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В ЗОНАХ СОЧЛЕНЕНИЯ ПЛАТФОРМЕННЫХ И ГОРНОСКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ

Рассмотрены возможности долгосрочного прогнозирования безопасности захоронения жидких радиоактивных отходов в глубокие водоносные горизонты. На примере Томского и Красноярского полигонов показана сложность такого прогнозирования. Особое внимание уделяется геолого-тектоническим процессам, влияющим на степень изолированности захороненных отходов. В связи с этим рассмотрено влияние новейших и современных тектонических движений на гидролитосферу в зоне сочленения юго-восточной части Западно-Сибирской плиты с юго-западной окраиной Сибирской платформы и с Восточным Саяном.

Введение

Вторая половина XX столетия характеризуется активным техногенным воздействием на гидролитосферу, в результате которого могут возникать и нередко возникают экологически опасные последствия. Один из видов экологически опасного воздействия на гидролитосферу – подземное захоронение высокотоксичных и радиоактивных отходов, особенно в жидкой фазе. Захоронение таких отходов производится в районах, характеризующихся различными геолого-гидрографическими условиями. Предметом нашего рассмотрения являются основные аспекты прогнозирования изолированности промстоков, захороненных в сложных геолого-гидрографических условиях зон сочленения различных тектонических структур.

Общие сведения об экологически опасных химических элементах и их изотопах в гидролитосфере

Среди химических элементов и их изотопов наиболее неблагоприятное влияние на природу и здоровье человека оказывают биологически опасные радиоактивные элементы, что наглядно проявилось в связи с аварией на Чернобыльской АЭС. Радиоактивные изотопы химических элементов, встречающиеся в гидролитосфере, могут иметь космогенное или радиогенное происхождение и попадают в подземные воды либо с атмосферными осадками (космогенные изотопы), либо в результате распада радиоактивных элементов, содержащихся в породах и почвах (радиогенные изотопы). Помимо радиоактивных изотопов космогенного и радиогенного происхождения, в подземные воды могут поступать и радиоактивные продукты ядерных взрывов и атомно-энергетических предприятий. Последствия осуществленных в 50–60-е годы ядерных взрывов в атмосфере в настоящее время проявляются в наличии в подземных водах таких радионуклидов, как тритий, радиоуглерод, стронций-90 и цезий-137.

В топливном цикле АЭС источником энергии является цепная реакция деления тяжелых ядер под действием нейтронов. Способностью участвовать в цепной реакции деления обладают изотопы ^{232}U , ^{235}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu и некоторые другие нуклиды транс-

Удельная активность продуктов деления урана, плутония и трансурановых элементов в выгруженном топливе реакторов на тепловых и быстрых нейтронах (по Н.С. Бабаеву и др. [1])

Радионуклид	$T_{1/2}$	Удельная активность, кКи/т топлива	
		реактор на тепловых нейтронах	реактор на быстрых нейтронах
Продукт деления:			
^{144}Ce	285 сут	892,0	1280,0
^{95}Nb	35 сут	869,0	2660,0
^{92}Zr	65 сут	524,0	2100,0
^{106}Ru	1 год	459,0	1290,0
^{89}Sr	51 день	214,0	637,0
^{137}Cr	30 лет	107,0	109,0
^{147}Pm	2,6 года	104,0	353,0
^{90}Sr	28 лет	76,9	43,4
^3H	12,3 года	0,7	0,9
ТУЭ:			
^{241}Am	14 лет	116,0	600,0
^{242}Cm	0,45 года	19,3	65,5
^{238}Pu	88 лет	2,79	11,2
^{244}Cm	18 лет	2,50	1,24
^{240}Pu	6580 лет	0,48	0,43
^{239}Pu	24 413 лет	0,33	3,53
^{241}Pu	432 года	0,17	1,57
^{243}Am	7340 лет	$17 \cdot 10^{-3}$	$50 \cdot 10^{-3}$
^{242}Pu	$3,9 \cdot 10^5$ лет	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$13 \cdot 10^{-3}$

урановых элементов. Среди них практически только ^{235}U встречается в природе, однако его содержание в природном уране составляет всего 0,7%. Остальные 99,3% приходятся на ^{238}U . Содержание другого природного изотопа ^{234}U ничтожно мало (0,006%). В большинстве случаев природный уран обогащается изотопом ^{235}U на предприятиях по разделению изотопов, а затем переводится в порошок UO_2 , который спекается в топливные таблетки (для наиболее распространенных реакторов на тепловых нейтронах).

Большую радиационную опасность представляют отходы отработанного топлива, выгружаемого из ядерных реакторов АЭС, поскольку в них остается подавляющая часть радиоактивных веществ, образующихся в результате работы реактора. Активность таких отходов превышает начальную активность урана в миллионы раз, что подтверждается данными об удельной активности продуктов деления урана, плутония и трансурановых элементов в топливе, выгруженном из реакторов АЭС (табл. 1).

Короткоживущие биологически опасные радионуклиды в основном распадаются прежде, чем попадают в биосферу, а долгоживущие нуклиды переходят в жидкые и твердые отходы. Жидкие радиоактивные отходы подвергаются очистке, после которой вода используется вновь, а концентрированные отходы подвергаются захоронению в жидком или отверженном виде.

Жидкие радиоактивные отходы в зависимости от их удельной активности подразделяются на три категории: низкой (менее 10^{-5} КИ/л), средней (от 10^{-5} до 1 КИ/л) и высокой (более 1 КИ/л) активности. Отходы низкой и средней активности присущи в основном начальным этапам ядерного топливного цикла – от добычи урана до эксплуатации на АЭС. Отходы высокой активности образуются при переработке на химических заводах топлива, выгруженного из ядерных реакторов [5]. Именно в них содержатся долгоживущие изотопы продуктов деления выгоревших урана и плутония, а также почти всех трансурановых элементов. Удельная активность таких отходов

Таблица 2

Период полураспада некоторых изотопов химических элементов

Изотоп элементов	Период полу-распада $T_{1/2}$	Изотоп элементов	Период полу-распада $T_{1/2}$
Рутений-106 (^{106}Ru)	1 год	Плутоний-238 (^{238}Pu)	88 лет
Торий-228 (^{228}Th)	1,9 года	Плутоний-241 (^{241}Pu)	432 года
Сурьма-125 (^{125}Sb)	2 года	Радий-226 (^{226}Ra)	1620 лет
Цезий-134 (^{134}Cs)	2 года	Углерод-14 (^{14}C)	5730 лет
Прометий-147 (^{147}Pm)	2,6 года	Плутоний-240 (^{240}Pu)	6580 лет
Кобальт-60 (^{60}Co)	5,25 года	Америций-243 (^{243}Am)	7340 лет
Радий-228 (^{228}Ra)	6,7 года	Плутоний-239 (^{239}Pu)	24 413 лет
Тритий (^3H)	12,43 года	Протактиний-231 (^{231}Pa)	$3,2 \cdot 10^4$ лет
Америций-241 (^{241}Am)	14 лет	Торий-230 (^{230}Th)	$7,7 \cdot 10^4$ лет
Кюрий-244 (^{244}Cm)	18 лет	Уран-234 (^{234}U)	$2,4 \cdot 10^5$ лет
Актиний-227 (^{227}Ac)	21,8 лет	Плутоний-242 (^{242}Pu)	$3,9 \cdot 10^5$ лет
Свинец-210 (^{210}Pb)	22,3 года	Уран-235 (^{235}U)	$6,8 \cdot 10^8$ лет
Стронций-90 (^{90}Sr)	28 лет	Уран-238 (^{238}U)	$4,5 \cdot 10^9$ лет
Цезий-137 (^{137}Cs)	30 лет	Торий-232 (^{232}Th)	$1,4 \cdot 10^{10}$ лет

настолько высока, что кроме мощной радиационной защиты они требуют охлаждения в течение длительного времени [10].

Длительность опасного воздействия радиации существенно зависит от периода полураспада изотопов, значения которого, по обобщенным литературным данным, приведены в табл. 2. Такие опасные для живых организмов изотопы, как ^{90}Sr и ^{137}Cs (с периодом полураспада 28–30 лет), снижают свою активность до экологически безопасного уровня примерно за 600 лет, тогда как для распада до такого же уровня трансурановых элементов требуются десятки и сотни тысяч лет. В связи с этим по требованию МАГАТЭ радиоактивные отходы, содержащие трансурановые элементы, должны быть надежно изолированы от экосферы на срок не менее 10 тыс. лет. При этом допустимыми считаются следующие методы хранения отходов высокой удельной активности:

хранение в жидкой фазе для снижения остаточного тепловыделения до приемлемого;

отверждение выдержаных в жидкой фазе отходов и временное хранение отверженных отходов в контролируемых условиях;

окончательное захоронение отверженных отходов в геологические формации.

По требованию МАГАТЭ, захоронение жидких радиоактивных отходов в глубокие геологические формации в настоящее время запрещено. Тем не менее хорошо известно, что на территории России, как и на территориях некоторых других государств, подобное захоронение осуществлялось весьма продолжительное время (с середины 50-х годов), за которое в геологических формациях накопилось огромное количество жидких радиоактивных отходов различной удельной активности. Ситуация усугубляется тем, что в начальный период развития атомной промышленности основное внимание уделялось главным образом вопросам секретности местоположения и работы ядерно-химических заводов. Решение проблем экологических последствий работы таких предприятий часто носило поверхностный характер, соответствующий уровню развития эколого-геологических наук того времени. Захоронение жидких радиоактивных отходов нередко осуществлялось без серьезного анализа геолого-гидрогеологической обстановки.

В качестве характерных примеров подобного недостаточно обоснованного с геолого-гидрогеологических позиций расположения полигонов захоронения жидких радиоактивных отходов можно, на наш взгляд, назвать полигоны вблизи городов Томск и

Красноярск. Для названных территорий характерно сложное геолого-гидрогеологическое строение, которое имеет ряд общих для них черт и в каждом из районов обладает определенными особенностями [19].

Особенности геолого-гидрогеологических условий рассматриваемых районов захоронения жидких радиоактивных отходов

Полигон захоронения отходов вблизи г. Томск расположен в области сочленения южной окраины молодой Западно-Сибирской плиты с северной частью Колывань-Томской поднегерцинской складчатой области, выраженной в современном рельефе в виде поднятий.

В пределах Колывань-Томской складчатой области сильно дислоцированный палеозойский фундамент приподнят и выходит на дневную поверхность в эрозионных врезах речных долин. Фундамент, сложенный преимущественно визейскими отложениями карбона, перекрыт относительно маломощной толщей континентальных образований новомихайловской свиты среднего олигоцена и субаэральными, озерно-аллювиальными осадками среднего плейстоцена.

В пределах южной окраины Западно-Сибирской плиты палеозойский фундамент перекрыт чехлом рыхлых мезозойско-кайнозойских отложений, постепенно выклинивающихся в юго-юго-восточном направлении, т.е. к выступу кристаллического основания Колывань-Томской складчатой области. В северо-западном направлении, т.е. к центральной части Западно-Сибирской плиты, мощность отложений осадочного чехла увеличивается. В разрезе рассматриваемой территории встречаются отложения от палеозойского до четвертичного возраста, представленные переслаивающимися песчано-глинистыми породами. Палеозойские образования фундамента представлены в основном сланцами и глинистой корой выветривания в его верхней части.

В гидрогеологическом отношении район полигона расположен в юго-восточной части Обского артезианского бассейна и характеризуется наличием высоконапорных трещинных и трещинно-жильных вод в породах палеозойского фундамента, мощных напорных водоносных горизонтов в меловых и палеогеновых отложениях, а также широким распространением межпластовых (напорных и безнапорных) и грунтовых вод в отложениях неогенового и четвертичного возраста.

Гидрогеологический разрез рассматриваемой территории представлен двумя водоносными комплексами: нижним, включающим в себя I, II и III меловые горизонты, и верхним, в состав которого входят IV меловой, IVa, V и VI палеогеновые и четвертичный водоносные горизонты (рис. 1).

В соответствии со спецификой гидрогеологических исследований в районах расположения полигонов захоронения жидких радиоактивных отходов нумерация водоносных горизонтов в отличие от общепринятого дается цифрами снизу вверх, а нумерация слабопроницаемых пород между водоносными горизонтами – буквами в том же порядке.

Водоносные комплексы разделены между собой горизонтом Д, сложенным водупорными глинистыми образованиями. Каждый из водоносных комплексов характеризуется различными избыточными напорами, гидрохимическими и гидродинамическими показателями.

Водоносные горизонты нижнего комплекса, в который производится захоронение жидких радиоактивных отходов, содержат пресные напорные воды гидрокарбонатного кальциевого типа, движущиеся со скоростью порядка 3–5 м/год преимущественно в юго-западном направлении.

Полигон захоронения отходов вблизи г. Красноярск расположен в области сочленения юго-восточной окраины Западно-Сибирской плиты с новейшим эпиплатформенным орогеном Восточного Саяна и сводово-глыбовым поднятием Сибирской платформы – Енисейским кряжем. Характерная особенность рассматриваемого района – его

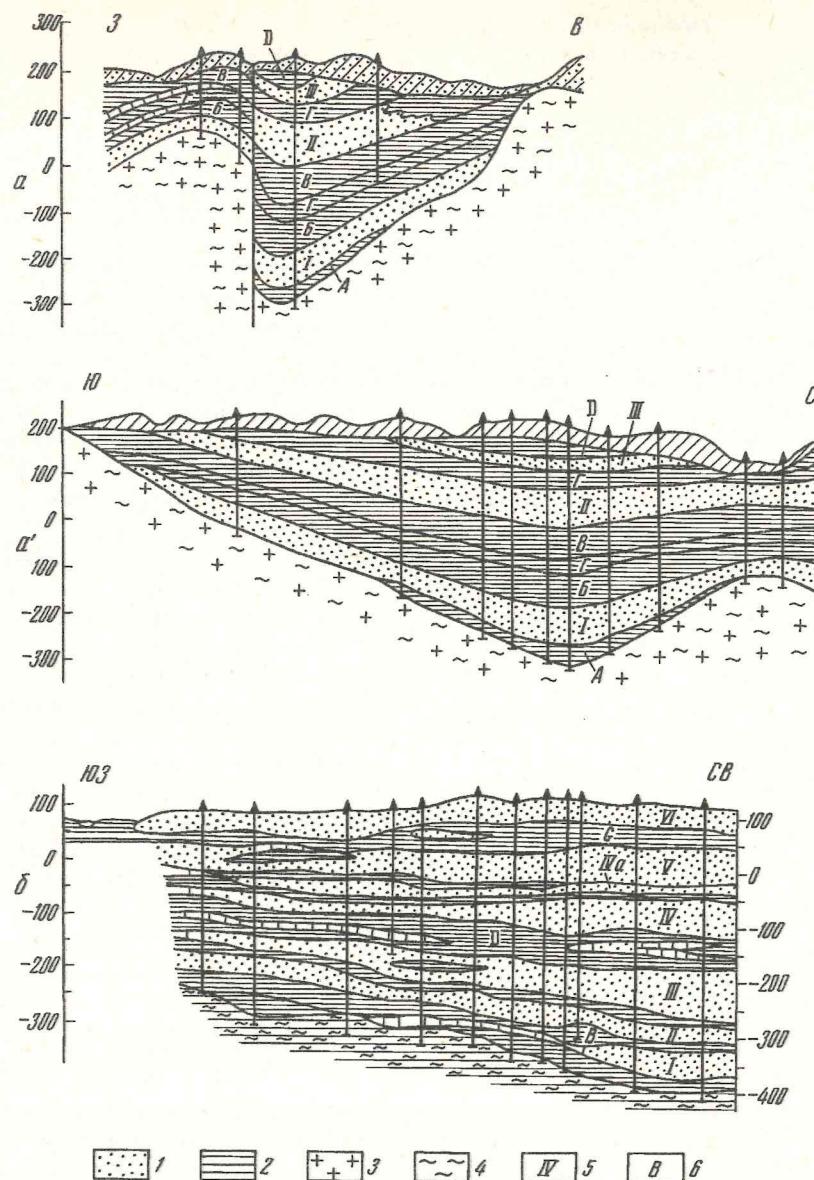


Рис. 1. Геолого-гидрогеологические разрезы районов захоронения жидких радиоактивных отходов. а, а' – вблизи г. Красноярск, б – вблизи г. Томск: 1 – проницаемые породы, 2 – слабопроницаемые породы, 3 – скальные породы фундамента, 4 – глинистые породы фундамента, 5 – условный индекс водоносного горизонта, 6 – условный индекс водоупора

блоковое строение, обусловленное наличием крупных тектонических нарушений. Муратовский разлом взбросового характера, ориентированный в субмеридиональном направлении, отделяет Западно-Сибирскую низменность от Енисейского кряжа. Субширотная ветвь глубинного Байкало-Енисейского разлома, выраженная в виде флексуры в девонских отложениях, отделяет Западно-Сибирскую низменность от Восточного Саяна. Кроме того, на западной окраине Енисейского кряжа в пределах правобережья р. Енисей параллельно Муратовскому разлому прослеживается субмеридиональный разлом взбросового характера, получивший название Правобереж-

ного. Таким образом, в рассматриваемом районе выделяются три участка (блока): Западный – опущенный, принадлежащий к юго-восточной окраине Западно-Сибирской плиты, Центральный – приподнятый, ограниченный Муратовским и Правобережным разломами, и Восточный – опущенный, находящийся между Правобережным разломом и Енисейским кряжем.

Полигон захоронения расположен в пределах древней эрозионной впадины на площади Восточного опущенного блока. Максимальная мощность песчано-глинистых юрских отложений эрозионной впадины составляет 550 м. В восточном, южном и юго-восточном направлениях мощность отложений осадочного чехла быстро уменьшается вплоть до полного ее выклинивания и выхода на дневную поверхность кристаллического фундамента. С запада впадина ограничена Правобережным разломом, по плоскости смещения которого приходят в соприкосновение различные по литологическому составу и возрасту породы Восточного опущенного и Центрального приподнятого блоков.

В гидрогеологическом отношении рассматриваемый район отнесен к южной части Чульмо-Енисейского наложенного артезианского бассейна. Гидрогеологический разрез представлен водоносными комплексами осадочных четвертичных и юрских образований, а также метаморфических и изверженных пород докембрия. В разрезе напорного юрского водоносного комплекса выделяют I, II и III горизонты, сложенные кварцевыми среднезернистыми песками и слабосцепментированными песчаниками. Нижним водоупором (А) служат слабопроницаемые отложения коры выветривания или монолитные породы кристаллического фундамента. Между собой водоносные горизонты разделены глинистыми горизонтами Б, В, Г и Д, имеющими практически повсеместное распространение. Захоронение радиоактивных отходов производится в I и II пресные водоносные горизонты, область питания которых расположена примерно в 10 км к югу от полигона, а область разгрузки – в долине р. Кан и частично в долине р. Тель. Естественная скорость фильтрации подземного потока составляет в среднем 5–6 м/год.

Оценивая общие закономерности геолого-гидрогеологических условий районов расположения Томского и Красноярского полигонов захоронения жидких радиоактивных отходов, можно отметить следующее.

Районы расположения подземных хранилищ ядерных отходов приурочены к зонам сочленения молодой Западно-Сибирской плиты с окраинами Сибирской платформы и Восточного Саяна. В рассматриваемых районах наблюдаются разнокоростные вертикальные движения с возникновением смещений по плоскостям крупных и мелких тектонических нарушений различного простирания.

Оба подземных хранилища приурочены к нижним водоносным горизонтам переслаивающихся песчано-глинистых отложений мезозойско-кайнозойского возраста. Водоносные горизонты верхних частей разреза используются, как правило, для централизованного водоснабжения.

Этажное расположение водоупорных и водоносных горизонтов, по всей вероятности, не исключает возможности гидравлической связи между последними по зонам тектонических нарушений и на участках литологических окон в слабопроницаемых перемычках. Питание "целевых" водоносных горизонтов в основном осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков в местах выхода этих горизонтов на дневную поверхность. Естественная разгрузка, как правило, происходит в долинах таких крупных рек, как Обь, Томь, Кан, Тель. Природные воды "целевых" водоносных горизонтов – пресные, гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией 0,3–0,4 г/л. Скорости их движения в относительно однородных водоносных горизонтах в естественных условиях составляют 3–6 м/год.

Таким образом, описываемые нами районы захоронения жидких радиоактивных отходов, находящиеся в зоне сочленения платформенной и горноскладчатых областей, характеризуются весьма сложными геолого-гидрогеологическими условиями, в которых долгосрочное прогнозирование экологической безопасности захороненных промстоков представляет собой сложную многофакторную задачу.

Основные факторы, оказывающие влияние на изолированность захороненных жидких радиоактивных отходов

Прежде всего следует выделить основные группы процессов, влияющих на миграцию захороненных промстоков. По нашему мнению, их четыре: гидрогеологические, климатические, техногенные и геолого-тектонические. Все они, в свою очередь, находятся под влиянием космофизических процессов (рис. 2). Рассмотрим кратко зависимость изолированности захороненных промстоков от названных групп процессов и современные возможности сверхдолгосрочного прогнозирования последних.

Космофизические процессы. В работе Б.А. Слепцова-Шевлевича [21] отмечается, что в причинно-следственной цепи, характеризующей механизм солнечно-земных связей, действуют такие факторы, как солнечная активность, межпланетное магнитное поле, магнито-электрическое поле Земли (магнитосфера), угловая скорость вращения Земли, отклоняющая сила вращения Земли, циркуляция атмосферы, барическое поле, колебания мгновенной оси вращения Земли и др.

Анализ большого количества специальной литературы [2, 16–18, 20, 21, 24–26] показывает, что изменения параметра земной орбиты, скорости вращения Земли, газового и пылевого состава земной атмосферы вызываются изменениями гравитационных полей, волнового и корпускулярного излучений, приходящих в земную атмосферу от Солнца и из космоса.

Приходящее к земле электромагнитное и корпускулярное излучение изменяет химический состав атмосферы, в результате чего меняются ее оптические свойства и тепловой режим ее нижних слоев. Изменение электрических свойств атмосферы может приводить к образованию в ней таких частиц, которые, в свою очередь, могут служить ядрами конденсации влаги. Изменения интегральной солнечной постоянной на несколько десятых процента могут приводить к глобальным изменениям температурного поля Земли. Ультрафиолетовая и корпускулярная радиация Солнца могут вызывать изменения общего содержания и вертикального распределения озона в атмосфере Земли. Сама солнечная активность, по гипотезе Л.И. Сверловой [20], связана с меняющимся во времени взаимодействием магнитных полей ядра Галактики и Солнца.

Очевидно, что при современном уровне знаний научно обоснованное прогнозирование развития абсолютного большинства из приведенных выше процессов и тем более прогнозирование их влияния на изолированность захороненных промстоков не представляется возможным.

Климатические процессы. Поскольку захоронение радиоактивных отходов осуществляется в глубокозалегающие водоносные пласты-коллекторы, то время фильтрации подземных вод от областей питания до районов расположения полигонов захоронения отходов при существующих уклонах пьезометрической поверхности составляет, по нашим расчетам, от 2 до 7 тыс. лет. Следовательно, краткосрочные, периодичностью в единицы и десятки лет, колебания климата не могут повлиять на условия изоляции захороненных промстоков. Долгосрочные изменения климата, сопоставимые по времени со сроками необходимой изоляции радиоактивных промстоков от экосферы (тысячи и десятки тысяч лет) могут приводить к существенным изменениям условий питания подземных вод и режима их фильтрации и, следовательно, к изменениям условий изоляции захороненных промстоков [6]. Однако проблема долгосрочного прогноза изменений климата под влиянием космофизических, гелиогеофизических и техногенных процессов на сегодняшний день представляется неразрешимой. Это объясняется тем, что в настоящее время наука не в состоянии дать количественную оценку отдельных климатообразующих факторов и может выполнить лишь качественную интерпретацию их влияния на климат [2]. На основе собственной гипотезы о природе солнечной активности Л.И. Сверловой дан прогноз возможных колебаний температуры воздуха на 10 тыс. лет вперед, согласно которому в ближайшие 4–5 тыс. лет ожидается повышение температуры воздуха нашей планеты примерно на 1,5°C по сравнению с

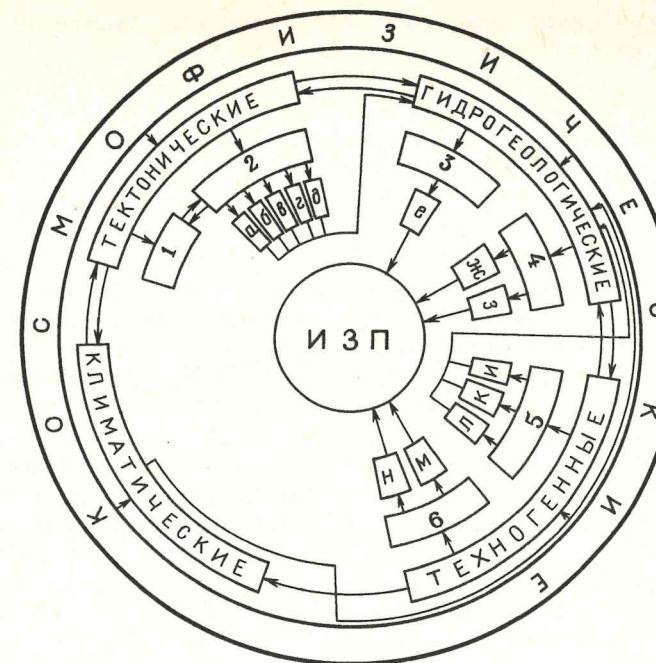


Рис. 2. Схема зависимости изолированности захороненных промстоков (ИЗП) от природных и техногенных процессов

современной и затем ее снижение (относительно достигнутой к тому времени) примерно на 0,7°C в течение последующих 5 тыс. лет. Следует, однако, отметить, что в процессе количественной оценки различных климатообразующих факторов могут получаться и взаимоисключающие прогнозы. Так, по прогнозам И.Д. Нейса [26], в ближайшие 20 тыс. лет должно происходить постепенное похолодание климата с наступлением нового ледникового периода в северном полушарии Земли.

Из всего вышеизложенного следует вывод, что любые категоричные прогнозы будущих тенденций изменения климата по расчетным вариациям различных, обособленных друг от друга, климатообразующих факторов в настоящее время недостаточно обоснованы.

Среди **техногенных процессов**, способных прямо или косвенно воздействовать на изолированность промстоков, захороненных в глубокозалегающие водоносные горизонты, можно выделить процессы общепланетарного и местного масштаба. Техногенные процессы общепланетарного масштаба способны приводить к изменению природных условий (в первую очередь климатических) питания и разгрузки подземных вод "целевых" и пограничных с ними водоносных горизонтов и, следовательно, к изменению их гидродинамического режима. В качестве примера можно упомянуть так называемый парниковый эффект, частично вызванный техногенным изменением прозрачности атмосферы Земли и снижением ее альбедо. Прогнозирование развития техногенных процессов общепланетарного масштаба находится в настоящее время в стадии становления и, следовательно, пока достоверно не может быть выполнено. Техногенные процессы местного масштаба обычно связаны с проблемами переработки, обеззараживания и захоронения продуктов производства и, с точки зрения долгосрочного прогнозирования экологической безопасности захороненных промстоков, непосредственного влияния на последние не оказывают. В то же время саморазогрев захороненных радиоактивных отходов может активно влиять на увеличение фильтрационных свойств глинистых пород, изолирующих "целевые" водоносные горизонты, а следовательно, и на изолированность захороненных промстоков [3, 4].

Самое непосредственное влияние на изолированность захороненных промстоков оказывают гидрогеологические процессы, которые условно можно подразделить на тесно взаимосвязанные гидрохимические и гидродинамические. Эти процессы определяют степень разубоживания промстоков природными водами, сорбируемость радиоактивных элементов породами пластов-коллекторов и водоупоров, скорость и дистанцию переноса загрязняющих веществ в гидролитосфере.

На современном уровне знаний гидродинамические прогнозы как таковые не представляют серьезных затруднений. Существует большое количество пакетов программ численного моделирования одномерной, двухмерной и трехмерной фильтрации. Основная сложность такого моделирования заключается в необходимости учета изменений во времени фильтрационных и емкостных свойств, углов падения и простирания водоносных и водоупорных отложений, изменения положения областей питания и разгрузки, а также действующих на период прогноза граничных условий, которые, в свою очередь, будут зависеть от прогнозируемых техногенных, климатических и тектонических процессов.

Гидрохимический прогноз миграции радиоактивных загрязнителей в гидролитосфере представляет собой еще более сложную задачу. Дело в том, что имеющиеся пакеты программ численного моделирования миграции не учитывают изменения во времени фильтрационных и сорбционных свойств водоносных и водоупорных пород под влиянием изменения минерализации и "саморазогрева" фильтрующихся растворов, а также в результате физико-химических взаимодействий между горными породами и растворами.

Геолого-тектонические процессы весьма активно, на наш взгляд, влияют на степень изолированности захороненных промстоков и при прогнозировании экологической безопасности захоронений жидких радиоактивных отходов должны учитываться в первую очередь.

Современное состояние гидролитосферы и ее изменение в будущем в значительной степени определяются характером новейших и современных тектонических движений: их направленностью, тенденцией, скоростями, а также активностью разрывных нарушений. Названные факторы влияют на интенсивность эрозионного расчленения рельефа и, следовательно, на положение водоносных горизонтов в вертикальном разрезе земной коры; на изменение наклонов залегания этих горизонтов и, следовательно, на изменение взаимного расположения областей их питания и разгрузки и на изменение скоростей фильтрации; на нарушенность водоносных и водоупорных горизонтов активными разрывными нарушениями и, следовательно, на возможность возникновения новых областей питания и разгрузки водоносных горизонтов, и в первую очередь тех из них, которые содержат захороненные радиоактивные отходы, и т.д. При этом решающую роль играют скорости тектонических движений и тенденции их изменения во времени (к увеличению или к ослаблению последних). Чрезвычайно важны также морфологическая, динамическая и кинематическая характеристики разломов, т.е. смещение их крыльев в том или ином направлении, с теми или иными скоростями относительно друг друга, а также ориентировка сжимающих и растягивающих усилий в анализируемом районе в целом и в зонах разломов определенных простираний в частности.

Анализ развития геолого-тектонических процессов в зонах сочленения различных тектонических структур

Рассмотрим влияние новейших и современных тектонических движений на гидролитосферу в зоне сочленения юго-восточной части Западно-Сибирской плиты с юго-западной окраиной Сибирской платформы и с Восточным Саяном.

В настоящее время Западно-Сибирская плита располагается значительно ниже, чем гипсометрически приподнятые Восточный Саян и Сибирская платформа. Абсолютные

отметки плиты колеблются от 90 до 120 м и только в ее юго-восточной части достигают 300–370 м. Юго-западная же окраина Сибирской платформы приподнята до отметок 500–600 м, а расположенные южнее северо-западные отроги Восточного Саяна – даже до 700–800 м и более.

Такое взаимное гипсометрическое положение рассматриваемых территорий привело к представлению о современном опускании плиты и, следовательно, о безопасности в перспективе захоронений жидких радиоактивных отходов в ее осадочных толщах.

Для представления о действительном характере мезозойских новейших и современных тектонических движений в исследуемом районе требуется проведение специальных исследований, основанных на разнообразных методиках. Одна из таких методик базируется на анализе мощностей отдельных свит (горизонтов) осадочного чехла и времени их накопления. При этом скорость осадконакопления может интерпретироваться как скорость тектонического прогибания территории.

Подобные исследования были проведены в пределах изучаемого района для разреза мезозойских и раннекайнозойских (палеогеновых) осадочных отложений.

В результате анализа мощностей отдельных осадочных толщ и времени их образования удалось установить, что наиболее интенсивные нисходящие движения в этом районе Западно-Сибирской плиты происходили в течение раннего мела, в начале позднего мела и в олигоцене. При этом скорость прогибания колебалась примерно от 4 до 19 мм/тыс. лет. Меньшие скорости отрицательных тектонических движений, порядка 1–2 мм/тыс. лет, пришлись на вторую половину раннего мела, на ранний и средний палеоцен (палеоцен и эоцен).

В миоцене и раннем плиоцене осадконакопление в рассматриваемом районе не происходило. Из этого можно сделать вывод о том, что в миоцене и раннем плиоцене юго-восточная окраина Западно-Сибирской плиты была вовлечена в поднятие и являлась областью сноса. Анализ палеорельефа, построенного И.П. Кузиным и др., позволяет установить среднюю скорость миоцен-плиоценовых положительных тектонических движений. По нашим расчетам, она составляет примерно 4,5 мм/тыс. лет.

Аналогичные скорости получаются и при анализе карт новейшей тектоники СССР (1979 г.) и нефтегазоносных областей Сибири (1978 г.) [7, 8], на которых отражено поднятие юго-восточной окраины Западно-Сибирской плиты на 100 м за последние 25 млн. лет, т.е. в среднем на 4 мм/тыс. лет.

Однако в действительности скорость поднятия была далеко не равномерной. Как показал выполненный нами анализ ярусов рельефа (речных террас и поверхностей выравнивания двух наиболее крупных долин рассматриваемого региона, а именно низовьев р. Томь и среднего течения р. Енисей между г. Красноярск и устьем р. Кан), наибольшие скорости положительных тектонических движений юго-восточной части Западно-Сибирской плиты пришлись на четвертичное время.

Методика такого анализа рельефа разработана Н.В. Лукиной и апробирована на примере многих регионов (Карпаты, Крым, Кавказ, Копетдаг, Алтай и др.). Она базируется на определении относительных высот и возраста речных террас, а также продолжающей их вверх лестницы более высоких ярусов рельефа – поверхностей выравнивания и верховой поверхности. При этом в основу датирования уровней рельефа положена климатическая ритмостратиграфия, увязанная со шкалой абсолютного летоисчисления. Возраст уровней рельефа базируется на комплексе всех известных сведений о каждом из них (гипсометрических, минералогических, археологических и др.) с учетом абсолютного возраста образцов пород, слагающих эти уровни рельефа. В результате выполненных исследований были построены графики зависимости относительных высот террас и более высоких ярусов рельефа от их абсолютного возраста (рис. 3). Фактически такие графики отражают темпы эрозионного расчленения территории, которые отождествляются нами со скоростями тектонических поднятий. Чем круче наклон кривой, тем выше скорости положительных тектонических движений.

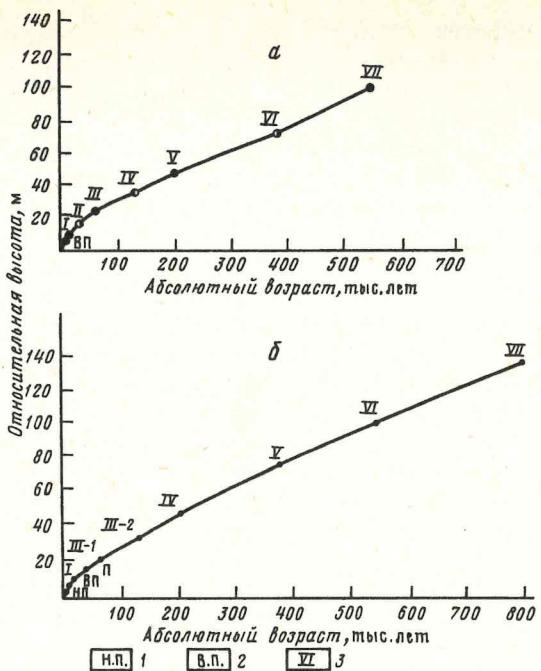


Рис. 3. График зависимости относительных высот террас и более высоких ярусов рельефа от их абсолютного возраста: а – в низовьях р. Томь, б – в среднем течении р. Енисей, между г. Красноярск и устьем р. Кан: 1 – низкая пойма, 2 – высокая пойма, 3 – условные номера террас и ярусов рельефа

Из представленных графиков (рис. 3) видно, что во второй половине позднего плейстоцена, т.е. в последние 60 тыс. лет, произошло усиление тектонической активности в пределах рассматриваемой территории. При этом максимальные скорости тектонических поднятий приходятся на голоцен, т.е. на последние 10 тыс. лет [11–14].

Характерно, что окраина Западно-Сибирской плиты, примыкающая к Колывань-Томской складчатой области, была вовлечена в поднятие несколько позднее и, видимо, поэтому отстает по темпам воздымания от района сочленения той же плиты с Сибирской платформой, где расположена долина р. Енисей. Так, на первом участке скорости тектонических поднятий в течение плейстоцена и голоцена возросли с 0,12 до 0,80 мм/год, а на втором – даже до 1 мм/год.

По мере удаления от Колывань-Томской складчатой области и юго-западной окраины Сибирской платформы (Енисейского кряжа) скорости положительных тектонических движений юго-восточной части Западно-Сибирской плиты снижаются, по нашим расчетам, примерно на 0,2 мм/год на каждый 100 км удаления.

О продолжающихся в настоящее время воздыманиях юго-восточной окраины Западно-Сибирской плиты можно судить на основе сопоставления топографически обоснованных естественных продольных профилей рек с их математически рассчитанными кривыми равновесия.

Такая работа проделана нами по методике Э.П. Якименко [23] для низовьев рек Кан, Мона, Большой Бузим и Большая Тель (рис. 4). На всех графиках естественные продольные профили рек располагаются выше математически рассчитанных (кроме верховьев, исключенных из рассмотрения), что подтверждает продолжающееся в настоящее время воздымание рассматриваемой территории [15].

Таким образом, авторам удалось установить, что юго-восточная часть Западно-Сибирской плиты, прогибавшаяся в мезозойско-палеогеновое время, в миоцене была

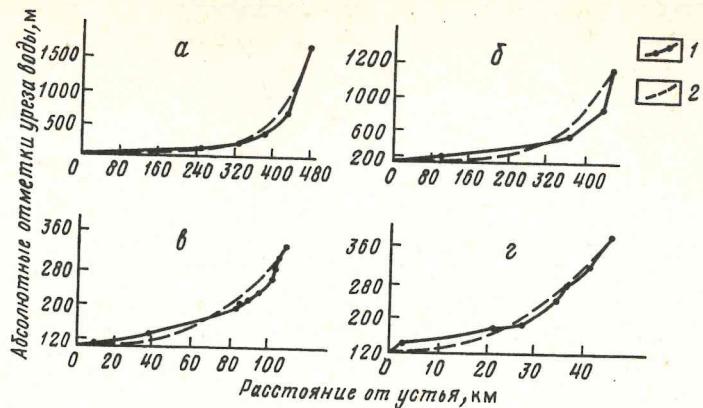


Рис. 4. Продольные профили зеркала воды рек: а – Кан, б – Мана, в – Большой Бузим, г – Большая Тель: 1 – естественные, 2 – математически рассчитанные

вовлечена в поднятие окружающими ее воздымющимися структурами горного обрамления Восточного Саяна и юго-западной окраины Сибирской платформы (Енисейского кряжа). Положительные тектонические движения усилились в последние 50 тыс. лет (особенно в голоцене – последние 10 тыс. лет) и имеют тенденцию к дальнейшему увеличению скоростей.

В методологическом аспекте вопрос направленности и скоростей новейших и современных тектонических движений чрезвычайно важен для прогнозирования изолированности захороненных радиоактивных отходов, так как именно эти показатели будут определять направленность (заглубление или приближение к дневной поверхности) и скорость перемещения самих загрязненных водоносных горизонтов в вертикальном разрезе земной коры, а также изменение положения областей их питания и разгрузки, что в свою очередь может оказать влияние на миграцию экологически опасных компонентов отходов.

Разрывные нарушения, располагающиеся вблизи контуров закачки жидких радиоактивных отходов или даже пересекающие эти контуры, также могут стать путями миграции опасных компонентов. Особенно опасны в этом отношении новейшие и современные активные разломы.

Новообразованные активные разломы, возникшие во время последнего (поздне-плейстоцен-голоценового) этапа тектонической активизации, характеризуются отсутствием смещений глубокозалегающих геологических тел, в результате чего их картирование затруднено. Выявление таких разломов возможно лишь по смещениям четвертичных осадков или форм рельефа [22].

Большую роль для выявления активных разломов имеют космические снимки и аэрофотоматериалы, так как именно на них хорошо выражены смещения молодых форм рельефа и дизъюнктивные деформации различных уровневых поверхностей.

Методика специализированного дешифрирования активных разломов на космических и аэрофотоснимках разработана в Лаборатории неотектоники космической геологии ГИН РАН под руководством профессора В.Г. Трифонова [9].

По этой методике Н.В. Лукиной для зоны сочленения Западно-Сибирской молодой плиты и древней Сибирской платформы на участке Енисейско-Канского междуречья построена карта активных разломов в масштабе 1:200 000 (рис. 5).

В настоящее время зона сочленения состоит из серии узких тектонических ступеней, последовательно снижающихся с востока на запад – от гипсометрически приподнятой Сибирской платформы к относительно опущенной Западно-Сибирской плате. Роль краевого шва играет Муратовский разлом с вертикальной амплитудой смещения

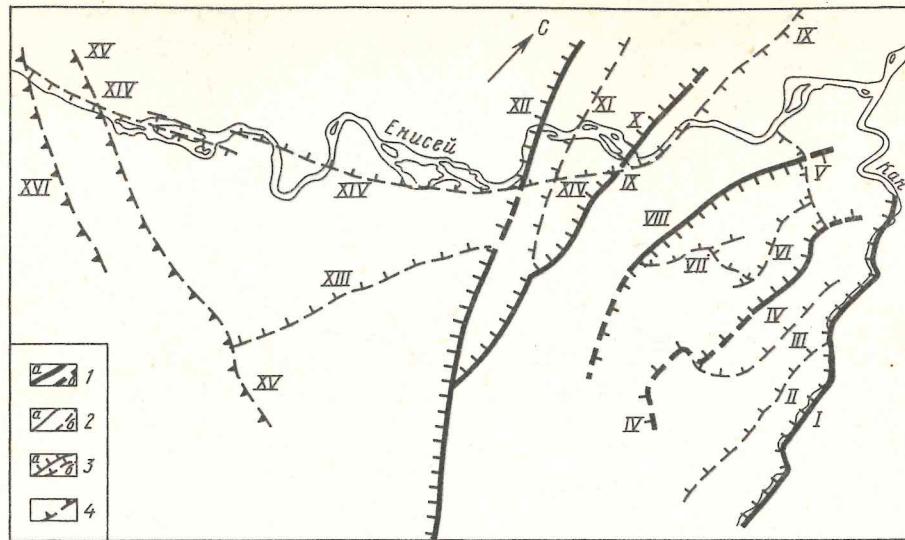


Рис. 5. Карта активных разломов Енисейско-Канского междуречья: 1 – древние, омоложенные на четвертичном этапе, 2 – новообразованные, 3 – сбросы, 4 – взбросы, а – достоверные, б – предполагаемые: I – Канско-Енисейский, II – Малый Итатский, III – Большой Итатский, IV – Малотельский, V – разлом Тельского Быка, VI – Большетельский, VII – разлом долины Черского, VIII – Правобережный, IX – Атамановский, X – Муратовский, XI – Красноярский-1, XII – Красноярский-2, XIII – Сосновоборский, XIV – Енисейский, XV – Ийско-Канский, XVI – Базаихинский

4720 м, ограничивающий на западе выходы кристаллического фундамента Атамановского отрога Енисейского кряжа.

Древние, но омоложенные в новейшее время разломы, такие, как Канско-Енисейский, Малотельский и Правобережный, смещают поверхность кристаллического фундамента на 130–150 м.

Новообразованные разломы, возникшие, как правило, между двумя древними, но омоложенными разломами, имеют меньшую амплитуду смещения, порядка 20–100 м. К таким разломам относятся Малый Итатский, Большой Итатский, Большетельский и Атамановский.

Таким образом, выдержанное расстояние ("шаг") между древними омоложенными разломами, равное примерно 10–11 км в четвертичное время уменьшилось вдвое за счет появления новообразованных разломов и равно теперь 5–5,5 км.

Активные разломы рассматриваемой территории можно подразделить на несколько групп: 1) активные в четвертичное время, подтвержденные смещениями позднеплиоценовой поверхности выравнивания; 2) активные в позднем плейстоцене и голоцене, доказанные деформациями одновозрастных форм рельефа; 3) активные в настоящее время (современные), смещение по которым установлено повторными геодезическими измерениями или деформациями продольного профиля дна русла р. Енисей.

Столь сложная разрывная структура исследованного района не была известна в период строительства полигонов захоронения жидких радиоактивных отходов. Однако современное прогнозирование изолированности захороненных промстоков вне всяких сомнений должно ее учитывать.

На степень изолированности захороненных радиоактивных отходов может влиять и мегатрециноватость горных пород. Она выявляется, как правило, на детальных топографических крупномасштабных космических и аэрофотоснимках по спрятленным элементам рельефа и ландшафта: руслам рек, ручьев и эрозионных ложбин; уступам террас и резким изменениям крутизны склонов; берегам озер, болот и т.п.

Систематичность спрятленных элементов рельефа и ландшафта, т.е. выдержанность их ориентировки и расстояний между ними, обусловлены закономерностями

планетарной-трещиноватости наземной поверхности, которая в силу ротационных причин скорее всего развивается сверху вниз и пронизывает осадочный чехол на различную глубину, часто не достигая поверхности кристаллического фундамента. Однако это не исключает возможности существования мегатрецин и разрывов поверхности фундамента.

Чрезвычайно важны также и сведения о морфологической, кинематической и динамической характеристиках активных разломов и мегатрецин. Дело в том, что эти параметры отражают современное поле тектонических напряжений, т.е. ориентировку сжатия и растяжения, действующих в горных породах. Под влиянием этих сил одни разломы и мегатрецины будут иметь тенденцию к раскрытию, зиянию, тогда как другие – к притертости, зажатости.

Таким образом, изолированность захороненных радиоактивных промстоков непосредственно зависит от гидрогеологических процессов (геофильтрация и массоперенос в гидролитосфере) и опосредованно – от всех остальных. Прогнозирование изолированности захороненных отходов представляет собой сложную многофакторную задачу, решение которой возможно только с применением ЭВМ.

Выходы

1. Жидкие радиоактивные отходы, даже будучи захоронены в глубокие геологические формации, могут представлять собой серьезную опасность для экосферы Земли. Современное прогнозирование их изолированности выполняется без учета многих природных и техногенных факторов.

2. Самообезвреживание таких отходов требует весьма длительного времени (тысячи и десятки тысяч лет), что вызывает необходимость сверхдолгосрочного прогнозирования их экологически безопасной "выдержки" в гидролитосфере вне экосферы Земли.

3. Сверхдолгосрочное прогнозирование изолированности захороненных радиоактивных отходов представляет собой сложную многофакторную задачу. Многие процессы, влияющие на миграцию захороненных в гидролитосфере отходов, еще недостаточно изучены и не могут быть спрогнозированы на достаточно длительную перспективу. Однако уже сегодня разработаны методики выявления и прогнозирования направленности и тенденций изменения скоростей новейших и современных тектонических движений, активности разрывных нарушений; находятся в стадии разработки методики прогнозирования развития мегатрециноватости земной коры, изменения фильтрационных свойств пород в результате "саморазогрева" захороненных радиоактивных отходов и физико-химического взаимодействия последних с подземными водами, водовмещающими и водоупорными отложениями.

4. На примере анализа геолого-гидрогеологических условий двух районов Западной Сибири доказана необходимость и возможность прогнозирования развития различных геолого-тектонических и геолого-гидрогеологических процессов, влияющих на изолированность захороненных жидких радиоактивных отходов.

5. Существующие программные средства моделирования миграции захороненных отходов не учитывают перспективного изменения самой гидролитосферы, а следовательно, дают недостаточно обоснованные прогнозы и требуют соответствующей доработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабаев Н.С., Демин В.Ф., Ильин Л.А. и др. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда. М.: Энергоиздат, 1981. 296 с.
2. Борисенков Е.П. Основные тенденции естественных и антропогенных изменений климата // Физические основы изменения современного климата. М.: Наука, 1981. С. 4–41.
3. Гольдберг В.М., Скворцов Н.П. Проницаемость и фильтрация в глинах. М.: Недра, 1986. 161 с.
4. Ершов Э.Д., Пармузин С.Ю., Лисицына О.М. Проблемы захоронения радиоактивных отходов в криолитозоне // Геоэкология. 1995. № 5. С. 20–36.

5. Жабо В.В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1992.
6. Жуков В.М. О динамике структуры теплового и водного балансов на Западно-Сибирской равнине в голоцене // Физические основы изменения современного климата. М.: Наука, 1981. С. 103–116.
7. Карта новейшей тектоники нефтегазоносных областей Сибири. Масштаб 1:2500000 / Под ред. Н.А. Флоренсова, И.П. Варламова. Новосибирск: СНИИГТИМС, 1978.
8. Карта новейшей тектоники СССР и сопредельных областей. Масштаб 1:5000000 / Под ред. Н.И. Николаева. Краткая объяснительная записка. М.: Мингео СССР, МГУ, 1979.
9. Карта активных разломов СССР и сопредельных территорий. Масштаб 1:8000000 / Под ред. В.Г. Трифонова. Объяснительная записка. М. – Иркутск: ГИН АН СССР, ИЗК СО АН СССР, 1986–1987.
10. Кедровский О.Л., Шишиц И.Ю., Гупало Т.А., Леонов Е.А. и др. Обоснование условий локализации высокоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива в геологических формациях // Атомн. энергия. 1981. Т. 70. Вып. 5.
11. Лукина Н.В., Макаров В.И., Трифонов В.Г., Волчкова Г.И. Корреляция тектонических событий новейшего этапа развития Земли // Тр. ГИН АН СССР. Вып. 399. М.: Наука, 1985. 174 с.
12. Лукина Н.В. Количественная оценка скоростей эрозионного врезания рек платформенных и орогенных областей СССР // Экзогенные процессы и окружающая среда. Количественный анализ взаимодействия: Тез. докл. XIX Пленума Геоморфол. комиссии АН СССР. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1988. С. 90–91.
13. Лукина Н.В., Купалов-Ярополк О.И., Жемерикина Л.В., Горелова Н.В. Мезозойско-кайнозойская геодинамика зоны сочленения Колывань Томской складчатой области с южной окраиной Западно-Сибирской плиты // Геодинамика, структура и металлогения складчатых сооружений юга Сибири: Тез. докл. Всесоюз. совещ. Новосибирск: ОИГТММ СО АН СССР, 1991. С. 60–62.
14. Лукина Н.В., Трифонов В.Г., Макаров В.И. Корреляция тектонических событий новейшего этапа как метод изучения неотектонических процессов // Современная геодинамика и глубинное строение территории СССР. М.: Наука, 1990. С. 31–40.
15. Лукина Н.В. Четвертичные движения юго-восточной части Западно-Сибирской плиты // Всероссийское совещ. по изучению четвертичного периода. М.: ГИН РАН, 1994.
16. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 407 с.
17. Ракилова Л.Р., Логинов В.Ф., Сазанов В.И. Возможные космофизические и солнечные факторы, влияющие на климат // Физические основы изменения современного климата. М.: Наука, 1981. С. 41–55.
18. Рузлев Ф.И. О климатообразующей роли внешнего гравитационного поля Земли // Физические основы изменения современного климата. М.: Наука, 1981. С. 69–76.
19. Рыбальченко А.И., Пименов М.К., Костин П.П. и др. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов. М.: Изд-во АТ, 1994. 256 с.
20. Сверлов Л.И. Астрофизические основы естественного изменения климата // Физические основы изменения современного климата. М.: Наука, 1981. С. 82–94.
21. Слепцов-Шевлевич Б.А. О механизме солнечно-земных связей // Физические основы изменения современного климата. М.: Наука, 1981. С. 55–69.
22. Трифонов В.Г., Востриков Г.А., Кожурин А.И. и др. Неотектоника и современная геодинамика подвижных поясов // Тр. ГИН АН СССР. 1986. Вып. 427. 365 с.
23. Якименко Э.П. Карта относительной деформации продольных профилей рек // Структурно-геоморфологические исследования в Сибири. Новосибирск: Наука, 1970. С. 111–115.
24. Denger A.I. The astronomical theory of paleoclimates. A cascal accuracy Proceedings of the WMO/LAMAP Symposium on Long – Term climatic Fluctuation Norwich, August. 1975. WMO. N 421. Geneva, 1975. P. 65–72.
25. Krauskopf K.B. Geology of high-level nuclear waste disposal // Ann. Rev. Earth Planet Sci. 1988. V. 16. P. 173–200.
26. Nays I.D., Imbrie J., Scheckleton N.I. Variation on the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages // Science. 1976. V. 194. N. 12. P. 1121–1132.

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология

5 • 1997

УДК 624.131

© 1997 г. Б.В. БОРЕВСКИЙ, Л.В. БОРЕВСКИЙ, С.Н. БУХАРИН,
С.И. ГРИГОРОВ, Н.Н. ЕГОРОВ, Ю.К. ШИПУЛИН, А.А. ШИПАНСКИЙ,
А.И. ЮНАК

К ПРОБЛЕМЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ НЕФТЬЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ МИНОБОРОНЫ РФ

В работе освещены основные направления, виды и задачи исследований при организации работ по ликвидации нефтепродуктового загрязнения геологической среды на военных объектах. Отмечена необходимость поэтапного подхода при оценке масштабов загрязнения и оценке экологического риска от него. В связи с большими финансовыми и временными затратами при осуществлении комплекса мероприятий по реабилитации компонентов геологической среды предлагается при необходимости в первую очередь осуществлять локализацию подвижной части линзы жидких нефтепродуктов, являющуюся скрытым очагом загрязнения природных и природно-техногенных систем и объектов и представляющую собой главную опасность возникновения возможных экологических аварийных ситуаций.

Проблема загрязнения природных и природно-технических систем и объектов нефтепродуктами является одной из самых серьезных экологических проблем во всем мире. Это связано как с широким развитием такого загрязнения, опасностью его для здоровья и жизни людей, так и сложностью комплексов работ и исследований и большими финансовыми и временными затратами на локализацию и ликвидацию.

Работы по локализации и ликвидации подповерхностных скоплений (линз) нефтепродуктов на объектах Минобороны РФ должны быть составной частью единой общегосударственной программы реабилитации природной среды РФ от нефтепродуктового загрязнения в местах добычи, переработки, хранения, распределения и транспортировки. Программа должна предусматривать работы на нескольких уровнях – республиканском, региональном и локальном (детальном, объектном).

К работам первого уровня следует отнести подготовку нормативно-правовой и научно-методической базы, разработку и создание систем мониторинга компонентов природной среды, в том числе гидрогоеокологического мониторинга, разработку технических средств и технологий реабилитации компонентов природной среды от нефтяного и нефтепродуктового загрязнения, отбор потенциально опасных регионов на основе имеющейся информации. С этой целью необходимо в первую очередь обязать всех владельцев провести гидрогоеокологическое обследование и экологическую паспортизацию источников загрязнения и оценку (на основе экспертических предварительных заключений) их экологической опасности.

На региональном уровне производится анализ гидрогоеокологической ситуации в ранее выделенных опасных и загрязненных регионах, выделяются первоочередные объекты, на которых требуется постановка специальных работ, осуществляется предварительный прогноз масштабов загрязнения и его развития во времени и пространстве.

На локальном уровне проводятся работы по локализации, уменьшению масштабов и последующей поэтапной ликвидации загрязнения на ранее выделенных наиболее опасных объектах.

Работы разных уровней могут перекрывать друг друга во времени, в ряде случаев проводиться одновременно, а на опасных объектах выполняться сразу на локальном уровне.

В представленной работе рассматриваются концептуальные подходы к проблеме локализации и ликвидации подповерхностных скоплений (линз) нефтепродуктов на локальном (объектовом) уровне.

Механизм и пути загрязнения компонентов геологической среды нефтепродуктами

Значительные загрязнения на военных объектах происходят там, где длительное время функционируют крупные стационарные склады горюче-смазочных материалов. Объем нефтепродуктов в подземной гидросфере может достигать десятков тысяч кубометров, площадь загрязнений может исчисляться сотнями гектаров [1].

При систематических потерях и эпизодических аварийных проливах нефтепродуктов происходит загрязнение почвенного слоя, грунтов зоны аэрации, грунтовых вод.

Загрязнение почвенного слоя происходит, как правило, непосредственно в местах пролива ("сверху"). Площадь его сравнительно невелика. Наиболее сильно почвы загрязняются тяжелыми вязкими нефтепродуктами, неспособными к глубокому проникновению в недра. При определенных условиях может происходить загрязнение почвенного слоя "снизу", от свободноплавающей на поверхности грунтовых вод линзы нефтепродуктов, в процессе естественных колебаний уровня грунтовых вод. В этом случае площадь загрязнения почвенного слоя может быть значительно больше и достигать размеров площади линзы (рисунок).

Загрязнение грунтов зоны аэрации также осуществляется двумя путями. Первый – при фильтрации пролитых нефтепродуктов ("сверху вниз"). Второй – при естественных сезонных колебаниях уровня грунтовых вод ("снизу"). В первом случае загрязнение фиксируется преимущественно в местах пролива или утечек. Во втором – на всей площади присутствия свободных нефтепродуктов. При этом образуются два максимума загрязнения по глубине: первый – у дневной поверхности на ограниченной площади мест пролива утечек, второй – над уровнем линзы.

Загрязнение грунтовых вод происходит при растворении в них нефтепродуктов. Поскольку растворимость нефтепродуктов в воде невелика (10–20 мг/л), общий объем растворенных нефтепродуктов обычно не превышает первых сотен килограммов на 1 км² линзы. Вместе с тем опасность этого вида загрязнения велика, так как оно может распространяться вместе с водой на значительные расстояния от источника.

Вторичные очаги загрязнения компонентов природной среды, сформировавшиеся в местах проливов и утечек, линзы нефтепродукта, "плавающие" на поверхности грунтовых вод, представляют собой основной очаг опасности для окружающей среды в силу своей подвижности. Площадь распространения жидких подвижных нефтепродуктов зависит как от объема утечек, так и от геологического-гидрогеологических условий формирования линзы. Так, если в разрезе преобладают слабопроницаемые породы, линза локализуется вблизи источника и может иметь значительную мощность. Если породы представлены высокопроницаемыми разностями, нефтепродукты распространяются вместе с водой на значительные расстояния, загрязняя большую площадь.

В районе сформировавшейся линзы нефтепродуктов образуется динамичная область углеводородного (УВ) загрязнения (рисунок), включающая в себя (сверху вниз):

- 1) зону газообразных УВ над максимальным уровнем жидких УВ;
- 2) зону защемленных УВ, обволакивающих частицы грунта, поры которого заняты воздухом, между максимальным уровнем жидких УВ и его текущим положением;
- 3) зону углеводородного насыщения (линза нефтепродуктов);
- 4) зону капельных УВ в воде между текущим и минимальным положением подошвы насыщенной зоны;

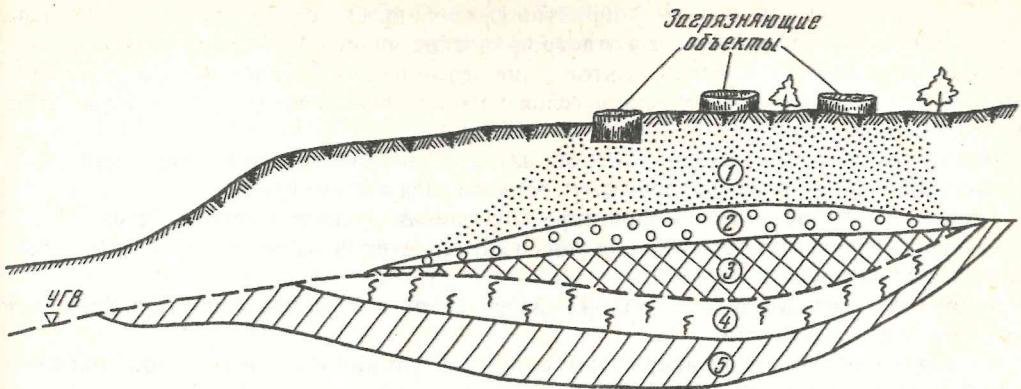


Схема зон углеводородного загрязнения геологической среды в районе сформировавшейся линзы жидких нефтепродуктов: 1 – зона газообразных углеводородов (УВ); 2 – зона защемленных УВ; 3 – зона углеводородного насыщения (линза жидких нефтепродуктов); 4 – зона капельных УВ в воде; 5 – зона эмульгированных и растворенных УВ; УГВ – уровень грунтовых вод

5) зону эмульгированных и растворенных УВ ниже минимального положения подошвы насыщенной зоны (подошвы линзы).

Перемещение (по горизонтали и вертикали) в подземном пространстве линз нефтепродуктов происходит в результате сезонного колебания уровня грунтовых вод и естественного потока грунтовых вод.

Вероятные угрозы от нефтепродуктового загрязнения и мероприятия по их предотвращению

Экологическому риску нефтепродуктового загрязнения от подвижной линзы жидких нефтепродуктов могут подвергаться следующие природные и природно-технические системы и объекты:

- 1) грунтовые воды, на поверхности которых сформирована линза нефтепродуктов;
- 2) воды, пляжи и донные осадки морей и водохранилищ при высачивании нефтепродуктов в пределах суши, шельфа морей и водохранилищ;
- 3) воды рек и пойменных водоемов при высачивании нефтепродуктов в бортах и днищах долин;
- 4) водоносные горизонты, имеющие гидравлическую связь с грунтовыми водами, на поверхности которых сформирована линза нефтепродуктов;
- 5) водозаборы поверхностных и подземных вод, оказавшиеся на пути движения линзы нефтепродуктов;
- 6) подвалы производственных и жилых помещений;
- 7) подземные сооружения и линейные коммуникации;
- 8) почвенный слой пахотных, садово-огородных земель, парков, лесных массивов, лугов, сенокосных угодий, пастбищ и др.

Учитывая масштабность процесса загрязнения природной среды нефтепродуктами, продолжительность и высокую стоимость работ по локализации и ликвидации нефтепродуктового загрязнения, авторы предлагают следующие концептуальные подходы к решению данной проблемы.

1. Проведение экологической паспортизации гарнизонов, имеющих склады ГСМ с большим оборотом нефтепродуктов, в первую очередь функционирующих длительное время.
2. Проведение комплекса работ по геоэкологическому обследованию территорий объектов, выявленных в результате паспортизации. Цель обследования – оценка экологической опасности нефтепродуктового загрязнения и выбор первоочередных объектов для постановки комплекса работ по его локализации и ликвидации.

3. Разработка инженерных мероприятий для военных объектов, на которых линзы нефтепродуктов могут вызвать катастрофические явления (высачивание в речные долины, береговые зоны морей, подтопление нефтепродуктами подвалов сооружений, подземных коммуникаций, почвенного слоя с корневой системой растений, загрязнение водозаборов).

Для обоснования инженерных мероприятий по локализации и ликвидации нефтепродуктового загрязнения должны быть решены следующие задачи:

- 1) оценка масштабов, типа и характера загрязнения подземной гидросферы;
- 2) оценка изучаемых техногенных линз нефтепродуктов, их состава и объема содержащихся в них запасов;
- 3) оценка размеров и местоположения участков поступления нефтепродуктов в недра и его интенсивности;
- 4) выявление участков аварийных ситуаций, связанных с изучаемой линзой и динамикой ее растекания;
- 5) разработка гидрогеоэкологической модели;
- 6) оценка извлекаемых запасов нефтепродуктов;
- 7) сооружение участка опытной откачки и разработка регламента его работы;
- 8) обоснование технологии и проекта извлечения нефтепродуктов.

На основе решения перечисленных задач производится сооружение нефтезабора, водных откачных и нагнетательных скважин, а также реализация гидрогеоэкологического мониторинга. По данным изучения режима эксплуатации и гидрогеоэкологического мониторинга осуществляется корректировка схемы и технологии разработки, а также сопровождающих ее других инженерных мероприятий.

В ряде случаев угрожающие масштабы загрязнения не позволяют ждать завершения планомерного изучения территории объекта, а требуют проведения параллельно со специальными исследованиями конкретных мероприятий по уменьшению и локализации загрязнения на наиболее опасных участках. Эти работы одновременно дают фактический материал по гидрогеологическим условиям залежи на основе пробной эксплуатации линзы.

Следует учитывать, что с гидрогеоэкологических позиций каждая линза нефтепродуктов является уникальной и требует разработки специальной методики и технологии. Вместе с тем основные принципы и стадии изучения, локализации и ликвидации являются общими. Надежное обоснование и эффективная реализация инженерных мероприятий по локализации и ликвидации очагов загрязнения подземной гидросферы техногенными залежами нефтепродуктов возможны только в результате предварительного комплексного гидрогеоэкологического изучения. Пренебрежение или экономия на предварительных гидрогеологических исследованиях приводит, как правило, к крайне нежелательным последствиям. В частности, может произойти разрыв залежи, что в свою очередь делает крайне трудным проведение реабилитационных мероприятий, а также удороожает дальнейшее проведение работ.

Сложность гидрогеологических условий, пестрота литологического состава водо-нефтеизмещающих пород, неравномерность распространения загрязнений в подземных водах и нефтепродуктов, плавающих на их поверхности, требуют для составления и разработки научно обоснованного плана мероприятия по локализации и последующей ликвидации уже имеющегося загрязнения: детального изучения гидрогеологических условий территории; построения прогностических и управляющих математических моделей и на основе выработки соответствующих инженерных решений составления проекта ведения работ.

В связи с вышеизложенным предлагается следующая принципиальная схема проведения комплекса исследований и работ по локализации и ликвидации нефтепродуктового загрязнения на объекте, состоящая из трех этапов.

Основные этапы и виды исследований при выявлении, локализации и ликвидации линз нефтепродуктов

Этап 1. Рекогносцировочные исследования

1.1. Сбор, анализ и обобщение фондовых и архивных материалов. Рекогносцировочное обследование территории с фиксированием техногенной ситуации, источников и участков потенциальных и фактически установленных утечек нефтепродуктов и объектов, которым может угрожать нефтепродуктовое загрязнение.

1.2. Газовая съемка и комплексные наземные геофизические работы по разрезенным профилям, сопровождаемые заверочным бурением единичных скважин и лабораторными исследованиями состава нефтепродуктов и степени загрязнения ими почв, грунтов зоны аэрации, подземных вод.

1.3. Предварительная оценка экологической опасности загрязнения на основе полученных в ходе рекогносцировки материалов, разработка программы дальнейших исследований для обоснования проекта локализации и ликвидации нефтепродуктового загрязнения.

Этап 2. Гидрогеоэкологическая разведка

2.1. Картирование техногенной залежи нефтепродуктов, области ее влияния и зоны аэрации с определением размеров, пространственной конфигурации, предварительной оценки объема содержащихся в залежи нефтепродуктов, в том числе различного состава, и оценки экологического риска от загрязнения.

Особое внимание уделяется картированию глубины залегания уровня нефтепродуктов (УНП) и положению водонефтяного контакта (ВНК) с выделением участков с наибольшей мощностью нефтенасыщенных пород. Такое картирование осуществляется путем проведения площадных геофизических работ, бурения картировочных скважин с опробованием откачками как интервалов залегания нефтепродуктов, так и подстилающих их подземных вод. Картирование сопровождается широким комплексом лабораторных работ по изучению состава и свойств нефтепродуктов, подземных вод, нефте- и водосодержащих пород, включая нефтеводонасыщенность и фазовую проницаемость почв и грунтов зоны аэрации. В скважинах проводится также комплекс геофизических исследований (ГИС), в задачу которых, помимо традиционного расчленения разреза, выявления наиболее проницаемых интервалов и т.п., входит установление мощности нефтепродуктов как в стволе скважин, так и непосредственно в пласте.

2.2. Сооружение специальных ярусных кустов скважин для опробования нефте- и водосодержащих пластов откачками. Опытно-фильтрационные и опытно-миграционные опробования пластов в различных режимах. Участок (участки) местоположения кустов скважин можно рассматривать как опытные полигоны для детализации особенностей геолого-гидрогеологических условий, экспериментального опробования режимов добычи нефтепродуктов, в том числе в режиме их раздельного и совместного отбора с водой, закачки воды в нефтеодержащие или подстилающие пласти и т.п.

2.3. Отработка и опробование технологии сооружения и оборудования скважин для откачки воды и нефтепродуктов с различными конструкциями нефте- и водоприемной части, схемы установки насосного оборудования и т.п.; выбор оптимального для данных геолого-технических условий технологического варианта.

2.4. Разработка регламента опытной эксплуатации выбранного полигона и сооружение фрагмента будущего нефтезабора, включающего скважины, оборудованные на нефтепродуктоносные и на водоносные интервалы разреза. Устанавливаются оптимальные режимы и технологические схемы эксплуатации, уточняются фильтрационные и миграционные параметры пластов как по данным эксплуатации, так и по результатам дополнительных лабораторных работ.

В процессе опытной эксплуатации уточняется коэффициент извлечения нефтепродуктов и оценка потенциальных возможностей их извлечения.

2.5. Разработка и составление гидрогеоэкологической модели участка очага загрязнения с оценкой эксплуатационных запасов техногенной залежи нефтепродуктов.

Такая оценка сводится к решению следующих вопросов: 1) определение общей величины возможного извлечения из недр нефтепродуктов при различных вариантах разработки залежи, 2) выбор режима разработки, 3) составление проекта разработки, включающего в себя схему и технологию эксплуатации, в том числе конструкции скважин для отбора воды и нефтепродуктов и решение вопроса рационального использования добытых нефтепродуктов.

2.6. Разработка системы гидрогеоэкологического мониторинга, состоящей из сети наблюдательных скважин ярусного заложения и сопровождающих их исследований, позволяющих давать текущую и прогнозную оценки состояния геологической среды.

Этап 3. Эксплуатационная разведка (локализация и ликвидация техногенной залежи нефтепродуктов)

3.1. Разработка залежи с сопровождающим мониторингом и корректировкой проекта разработки на основе уточненных данных, получаемых в процессе эксплуатации.

3.2. Доизучение периферийных частей залежи в процессе разработки.

Решение комплекса перечисленных задач позволит дать надежное обоснование рациональной эксплуатации техногенных залежей нефтепродуктов с одновременной реализацией программ добычи и охраны геологической среды от прогрессирующего загрязнения. Одновременно будет решаться и задача защиты различных водных объектов (рек, морей, озер, водозаборов и т.д.).

Как уже подчеркивалось выше, основой для разработки наиболее эффективной технологии добычи техногенных нефтепродуктов и защиты окружающей среды может служить начало их опытной эксплуатации на каком-либо фрагменте залежи практически параллельно с проведением исследований, являясь их составной частью. Это позволяет в опережающем режиме задолго до окончания всего комплекса разведочных работ начать добычу нефтепродуктов с одновременной локализацией очага загрязнения на наиболее опасном направлении. Параллельно с этим реализация добытых нефтепродуктов в ряде случаев может служить дополнительным источником финансирования проводимых исследований. Одновременно такая добыча может рассматриваться как одно из аварийных мероприятий, когда загрязнение уже приняло угрожающие размеры.

В зависимости от конкретных условий предложенная выше схема может изменяться, отдельные стадии могут перекрываться во времени и пространстве, а в некоторых случаях и исключаться.

В зависимости от степени опасности экологического риска и экономической целесообразности реабилитационные мероприятия могут быть направлены:

- 1) на локализацию линзы нефтепродуктов;
- 2) на локализацию и поэтапную ликвидацию подвижной части линзы нефтепродуктов;
- 3) на локализацию, поэтапную ликвидацию подвижной части линзы нефтепродуктов и реабилитацию почвенного слоя, когда уровень концентрации нефтепродуктов в почвах превышает предел потенциала самоочищения почв;
- 4) на локализацию, поэтапную ликвидацию подвижной части линзы нефтепродуктов и очистку грунтов зоны аэрации от нефтяного загрязнения.

Мероприятия по очистке грунтов зоны аэрации и загрязненных пород нефтеvodоносных пластов в связи с длительностью процесса и высокой стоимостью работ осуществляются лишь в исключительных случаях, когда грунты являются очагом загрязнения почвенного слоя пахотных или садовых земель (при подъеме уровня грунтовых вод), а также вод, используемых для водоснабжения.

Реабилитация почвенного слоя осуществляется на участках, где уровень концентрации нефтепродуктов в почвах превышает предел потенциала самоочищения почв (ППС), который зависит от типа почв, мощности почвенного слоя, геоморфологических условий участка и т.д. и определяется по результатам мониторинга почв на ключевых участках. Поэтому основной задачей исследования загрязненных почв на

Основные направления, виды, задачи и результаты работ и исследований на территории, загрязненной нефтепродуктами

№ п/п	Основные направления и виды работ и исследований	Решаемые задачи	Ожидаемые результаты
Этап I. Оценка состояния территории, выявление источников нефтепродуктового загрязнения			
1	Геологоразведочные работы (гидрогеологические, геохимические, геофизические)	Картографирование территории, загрязненной нефтепродуктами	Комплект карт и разрезов с ареалами (в плане и в разрезе) загрязненных грунтов, подземных вод, с указанием содержания в них нефтепродуктов. Гидродинамическая модель участка
Этап II. Предотвращение загрязнения природной среды нефтепродуктами при дальнейшей эксплуатации объектов			
2	Обследование источников загрязнения	Характеристика источников загрязнения по качественным и количественным показателям	Получение качественных и количественных показателей загрязнения по каждому источнику загрязнения
Этап III. Локализация и ликвидация загрязнения			
3	Разработка и реализация мероприятий по предотвращению утечек нефтепродуктов	Обоснование комплекса мероприятий по предотвращению утечек нефтепродуктов и их реализация	Прекращение поступления нефтепродуктов в геологическую среду
4	Комплекс изыскательских работ и исследований по обоснованию системы локализации загрязнения, в том числе опытно-промышленные работы по откачке из скважин нефтепродуктов	Характеристика геологической среды по показателям, необходимым для разработки мероприятий по локализации загрязнения подземных вод	Получение показателей по компонентам геологической среды для проектирования систем локализации загрязненных подземных вод
5	Составление технологического регламентирования для проектирования систем локализации и очистки подземных вод	Установление возможного уровня очистки подземных вод и степени локализации	Технологический регламент очистки подземных вод и степени локализации
6	Выбор и расчет систем локализации и очистки загрязненных подземных вод	Обоснование оптимальных систем локализации и очистки загрязненных подземных вод	Проект системы локализации и очистки загрязненных подземных вод
7	Строительно-монтажные работы по локализации и очистке подземных вод	Сооружение системы локализации и очистки загрязненных подземных вод	Создание системы локализации и очистки подземных вод
8	Эксплуатация системы локализации	Контроль за режимом эксплуатации и управление системой	Локализация ареала загрязнения и очистка загрязненных подземных вод
9	Мониторинг геологической среды	Контроль за состоянием природной геологической среды на территории объекта и прилегающих площадях	Рекомендации по корректировке режима эксплуатации системы локализации и очистки подземных вод
10	Составление технологического регламентирования для проектирования систем очистки территорий от загрязненного грунта	Установление экономически приемлемого и технологически возможного уровня очистки грунта от нефтепродуктов	Технологический регламент по уровню очистки грунта

№ п/п	Основные направления и виды работ и исследований	Решаемые задачи	Ожидаемые результаты
11	Выбор, обоснование и расчет метода (методов) реабилитации загрязненного грунта	На альтернативной основе обосновать метод (методы) реабилитации загрязненного грунта	Предложения по технологически и экономически обоснованному методу (методам) очистки грунта
12	Строительно-монтажные работы по реабилитации грунта, загрязненного нефтепродуктами	Очистка территории от грунта, загрязненного нефтепродуктами	Реабилитация грунта, загрязненного нефтепродуктами

объекте является выделение зон с различным уровнем концентраций нефтепродуктов и определение предельных концентраций: для зон возможного самоочищения почв; для зон рекультивации почв путем неглубокого аэрирования (регулярного вспахивания почвенного слоя); для зон, где из-за высокой концентрации нефтепродуктов требуются специальные технологии очистки или санации загрязненных почв.

Общая схема основных направлений работ на объектах, загрязненных нефтепродуктами, представлена в таблице.

Комплекс работ и исследований должен быть направлен на решение трех основных задач.

1. Прекратить загрязнение геологической среды при дальнейшей эксплуатации объекта путем ремонта или замены оборудования складов ГСМ, продуктоводов и т.д. либо их ликвидации.

2. Произвести комплекс работ по оценке загрязнения геологической среды нефтепродуктами и в случае подповерхностного скопления нефтепродуктов – комплекс работ по разведке техногенного месторождения нефтепродуктов и выполнить изыскания под проектные решения опытно-промышленной эксплуатации систем локализации, в том числе и экспериментальные по откачке из грунтов нефтепродуктов.

3. Разработать и реализовать проект локализации и поэтапной ликвидации очагов загрязнения природной среды.

Выводы

В процессе многолетних систематических утечек и эпизодических (аварийных) проливов нефтепродуктов на объектах Минобороны, расположенных, как правило, на относительно ровной, слабонаклонной в сторону естественных дрен поверхности, происходит загрязнение почвенного слоя, грунтов зоны аэрации, грунтовых вод и формируются подповерхностные скопления (линзы) жидкых нефтепродуктов, плавающие на поверхности грунтовых вод и перемещающиеся вместе с ними в пространстве подземной гидросферы. Подвижные линзы жидких нефтепродуктов, являющиеся скрытым очагом загрязнения природных и природно-технических систем и объектов, представляют собой главную опасность возникновения возможных экологических аварийных ситуаций.

Программы локализации и ликвидации нефтепродуктового загрязнения в первую очередь должны быть направлены на локализацию линз нефтепродуктов и поэтапную ликвидацию подвижной жидкой линзы нефтепродуктов (к составной части подвижной линзы относятся: зона углеводородного насыщения, зона капельных УВ в воде и зона эмульгированных и растворенных УВ). При этом следует учитывать экономический фактор реабилитационных работ (по опыту германских специалистов, стоимость 1 л извлеченного нефтепродукта составляет 8–10 марок [2], или порядка 30–35 тыс. рублей в ценах января 1996 г.).

Обоснование рациональной схемы локализации и ликвидации подвижной части

линзы жидких нефтепродуктов возможно только по результатам комплексных гидроэкологических исследований.

В связи со сложностью, длительностью процесса и большими финансовыми затратами решение о разработке и реализации программ очистки от нефтепродуктового загрязнения почв, грунтов зоны аэрации и пород водонефтеимещающих горизонтов следует принимать в случаях, когда в результате неприятия мер может возникнуть аварийная ситуация, затраты на ликвидацию последствий которой окажутся выше стоимости очистных мероприятий.

Потери и утечки нефтепродуктов происходят в местах добычи, переработки, хранения, распределения и транспортировки. В связи с этим работы на объектах Минобороны РФ должны быть составной частью единой общегосударственной программы реабилитации природной среды РФ от нефтепродуктового загрязнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боревский Б.В., Боревский Л.В., Щипанский А.А., Шипулин Ю.К., Юнак А.И. Проведение работ по очистке почвы и грунтовых вод на военном аэродроме г. Энгельс Саратовской области // Тр. Немецко-Российского семинара "Анализ, оценка опасности и ликвидация долговременных загрязнений на военных объектах. Создание новых военных объектов согласно природоохранным требованиям", 7–9 декабря 1994 г. Bundesumweltministeriums, 1995. С. 116–120.
2. Махольд Х.Ю. Устранение керосиновой контаминации грунтовых вод под аэродромом Лерц в северо-восточной Германии // Тр. Немецко-Российского семинара "Анализ, оценка опасности и ликвидация долговременных загрязнений на военных объектах. Создание новых военных объектов согласно природоохранным требованиям", 7–9 декабря 1994 г. Bundesumweltministeriums, 1995. С. 136–151.

Поступила в редакцию
20.X.1996

НППФ "ГИДЭК",
ГГП "Гидроспецгеология"
Управление экологии и специальных
средств защиты МО РФ,
Экологический центр МО РФ

УДК 624.131

© 1997 г. **В.М. ГОЛЬДБЕРГ, Ю.В. КОВАЛЕВСКИЙ**

ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ТЕРРИТОРИИ БЫВШЕГО МАЗУТОХРАНИЛИЩА В Г. ЧЕРЕПОВЦЕ

Рассмотрены особенности загрязнения грунтов и грунтовых вод на территории бывшего мазутохранилища в г. Череповце. Показано время фильтрации через проницаемые или относительно проницаемые породы (пески, супеси, легкие суглинки) составляет от нескольких до первых десятков суток. Движение нефтепродуктов через глины и тяжелые суглинки резко замедляется, время фильтрации возрастает до сотен суток. Отмечено, что в условиях столь медленного и длительного продвижения мазута при сравнительно невысоких температурах в зоне аэрации он может образовать битумный экран.

Бывшее мазутохранилище, являвшееся воинским объектом, расположено в г. Череповец на берегу р. Шексны вблизи Череповецкой нефтебазы. Мазутохранилище было создано в конце 40-х годов и ликвидировано в 1984 г. В связи с этим возникла необходимость рекультивации его территории. Учитывая длительное время существования мазутохранилища, можно было предположить наличие загрязнения подземных вод нефтепродуктами.

Общая площадь мазутохранилища ориентировочно составляет 600–800 тыс. м², протягиваясь вдоль р. Шексны на 900–1000 м, его ширина составляет примерно 700–800 м. В состав бывшего мазутохранилища входило несколько объектов источников потенциального загрязнения подземных вод, грунтов, природной среды:

1. Восемь стальных резервуаров, в которых осуществлялось хранение мазута и которые подлежат демонтажу. Два резервуара из восьми в настоящее время разрушены. В каждом из резервуаров хранилось 4600 м³ мазута. Площадка резервуаров размером 200 × 400 м удалена на расстояние 500–600 м от реки и находится на высокой террасе р. Шексны, сложенной с поверхности супесями и суглинками.

2. На расстоянии 100–200 м от р. Шексны на первой террасе параллельно ее течению расположены два открытых карта, в которых также хранили мазут. Площадь каждого из них составляет 0,8 га, размеры в плане составляют 160 × 60 м, глубина – 7 м. Карты имеют двойное земляное обвалование, их днища замазучены.

3. Пункт разгрузки мазута, доставлявшегося по железной дороге; трубопроводы, соединяющие пункт разгрузки; стальные резервуары; открытые карты и пункт заправки судов (в 300 м от берега на фарватере р. Шексны).

4. Подземный бетонный резервуар емкостью 500 м³, расположенный между открытыми картами и пунктом разгрузки на железной дороге.

Восстановление территории бывшего мазутохранилища включает в себя рекультивацию поверхности земли и очистку подземных вод и грунтов.

Загрязнение подземных вод и грунтов является распространенным явлением, чему весьма способствует промышленное освоение территорий, широкое использование нефтепродуктов в народном хозяйстве. Поэтому почвы практически любого района, как объект более подверженный загрязнению, по сравнению с подземными водами, содержат то или иное количество нефтепродуктов. Для каждого района имеется свой региональный фон содержания углеводородов в почве и подземных водах, которые

попадают в почвы с атмосферными осадками и тальми водами, фильтруются до уровня грунтовых вод. Этот фон изменяется в широких пределах и составляет для грунтов от 10 до 500 мг на 1 кг сухого грунта. В этих пределах нефтепродукты, если они не содержат много ароматических углеводородов и токсических примесей, не оказывают заметного вредного влияния на окружающую среду, а при некоторых условиях даже стимулируют рост растений [6, 9]. О присутствии нефтепродуктов в грунтовых водах можно судить по наличию или отсутствию характерного запаха. Пороговые значения запаха составляют для бензола 1–10 мг/л, для бензина – 0,001–0,01 мг/л; для дизельного топлива – 0,001–0,01 мг/л; для керосина – 0,01–0,1 мг/л [9].

Область загрязнения подземных вод обычно определяется по изолинии концентрации нефтепродуктов, равной предельно допустимой, которая для воды питьевого качества составляет 0,1 мг/л для многосернистой нефти и 0,3 мг/л для прочих нефтей [7]. Предельно допустимая концентрация нефти и нефтепродуктов в растворенном и эмульгированном состоянии в воде водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей не должна превышать 0,05 мг/л [8].

Почвы и грунты считаются загрязненными, если концентрация нефтепродуктов в них достигает такой величины, при которой начинаются негативные экологические изменения в окружающей среде, а именно: нарушается экологическое равновесие в почвенной экосистеме; гибнут почвенные животные, падает продуктивность или наступает гибель растений; происходит изменение морфологии, водно-физических свойств почв, падает их плодородие; создается опасность загрязнения подземных и поверхностных вод в результате вымывания нефтепродуктов из почвы или грунта и их растворения в воде [6]. Минимальное содержание нефтепродуктов также характеризуется предельно допустимой концентрацией (ПДК). ПДК нефтепродуктов в почвах ни в каких странах не установлена, так как она зависит от сочетания многих факторов: типа, состава и свойств почв и грунтов, климатических условий, состава нефтепродуктов, типа растительности, типа землепользования и т.д. [2]. Такие нормырабатываются в каждом конкретном случае отдельно. Природные экосистемы обладают большим потенциалом к самоочищению, в них активно действуют физико-химические и микро-биологические процессы разрушения углеводородов. Поэтому если вовремя устраниТЬ источник загрязнения, то концентрация нефтепродуктов в почвах будет снижаться и постепенно достигнет безопасного уровня. Проводить в таких случаях специальные работы нецелесообразно с экологической точки зрения, так как можно еще больше нарушить почвенную экосистему.

Количественный подход к нормированию содержания нефтепродуктов в почвах в различных странах и у разных исследователей зависит от характера региональной загрязненности среды, степени ее индустриализации, физико-географических условий.

Наиболее полными, на наш взгляд, являются нормативы, принятые в Нидерландах [10]. В "Справочнике по очистке почв" и материалах специализированных фирм приводятся три категории, различающиеся по степени загрязнения почв, грунтов и подземных вод, в зависимости от которых возможно применение тех или иных мероприятий по охране природной среды:

A – фоновый уровень загрязнения грунтов и подземных вод.

B – повышенное загрязнение грунтов и подземных вод. В этом случае необходимы наблюдения за динамикой загрязнения.

C – высокое загрязнение. Необходима срочная очистка грунтов и подземных вод.

Таким образом, нормативные акты Нидерландов предусматривают проведение мероприятий по очистке почв и грунтов от нефтепродуктов при концентрации от 5 г/кг (выше 0,5% по весу на сухое вещество) и по очистке подземных вод при концентрациях нефтепродуктов выше 0,6 мг/л.

На основе анализа и обобщения опубликованных работ и нормативов предложены следующие критерии загрязнения подземных вод и грунтов нефтепродуктами [1, 2].

Если область загрязнения подземных вод расположена в непосредственной близости от водозабора питьевого назначения или вблизи поверхностного водного объекта, в

Таблица 1

Результаты анализов грунтов и проб грунтовых вод

Номер сква- жины	Глубина установив- шегося уровня грун- товых вод, м	Глубина скважины, м	Интервал от- бора проб грунта, м	Концентрация нефтепродуктов		
				в грунте, мг/кг	в грунтовых водах, мг/л	
					11.04.95.	23.05.95.
1	0	6,2	0,2–0,3	34	0,13	0,25
			0,7–0,8	0		
			1,3–1,4	17		
2	1,61	7,2	0,5–0,6	154	0,16	0,16
			1,4–1,6	36		
			3,6–3,8	0		
3	0,4	7,1	0,4–0,5	32	0,41	0,30
			0,9–1,0	36		
			2,0–2,2	31		
4	2,5	7,0	0,3–0,4	216	0,31	0,13
			1,0–1,2	203		
			2,4–2,5	0		
5	1,88	9,8	0,2–0,5	55	0,5	0,13
			1,3–2,0	10		
			1,8–2,0	86		

который разгружаются загрязненные подземные воды, то она оконтуривается по изолинии концентрации нефтепродуктов 0,3–0,5 мг/л (первое значение для водоносных горизонтов мощностью меньше 7 + 10 м, второе значение – для водоносных пластов мощностью > 10 м).

Если область загрязнения расположена в удалении от водозаборного сооружения или поверхностного водного объекта (расстояние свыше 1–1,5 км), то оконтуривание проводится по изолинии концентрации 1 мг/л; за счет большего расстояния по пути движения загрязненных подземных вод будет происходить их разбавление.

Для загрязненных нефтепродуктами грунтов предлагаются следующие категории загрязнения:

- I – содержание нефтепродуктов до 100 мг/кг породы (незагрязненные грунты);
- II – содержание нефтепродуктов от 100 до 1000 мг/кг (грунты слабозагрязненные);
- III – содержание нефтепродуктов от 1000 до 5000 мг/кг (грунты загрязненные);
- IV – содержание нефтепродуктов выше 5000 мг/кг (грунты сильно загрязненные).

Каждой из этих категорий рекомендуются свои методы очистки. Привлекают своей эффективностью методы биодеградации загрязненных грунтов и вод, но они должны выполняться под тщательным контролем. Применительно к грунтам их целесообразно применять для снятия основной нагрузки загрязнения.

Для проверки состояния подземных вод было проведено бурение 5 разведочных скважин, результаты обследования которых позволили судить о наличии или отсутствии нефтяного загрязнения грунтовых вод. Результаты анализов грунтов и проб грунтовых вод по скважинам приведены в табл. 1.

В каждой скважине грунты отбирались с трех интервалов. Всего из 5 скважин было отобрано 15 проб. Только в трех пробах содержание нефтепродуктов в грунтах превышало 100 мг/кг: это верхняя проба из скв. 2, верхняя и промежуточная пробы из скв. 4. Во всех остальных 12 пробах содержание нефтепродуктов было меньше 100 мг/кг и в основном составляло 30 + 50 мг/кг.

Скважина 2 находится вблизи карта, расположенного выше по течению р. Шексны (проба отбиралась из интервала 0,5–0,6 м, из слоя мореной глины); скважина 4 – вблизи уреза р. Шексны. Верхняя проба из этой скважины отбрана из слоя торфа (интервал глубин 0,3–0,4 м); вторая проба, промежуточная – из слоя мореной глины (интервал глубин 1–1,2 м). В других скважинах пробы из интервалов залегания глин и моренных суглинков либо не отбирались (скв. 1), либо показали низкое содержание нефтепродуктов (скв. 3 и 5).

Пробы грунтовых вод из каждой скважины отбирались дважды: 11 апреля и 23 мая 1995 г. По всем пробам содержание нефтепродуктов было примерно на уровне ПДК для питьевых вод (0,13–0,3 мг/л) или несколько выше (0,4–0,5 мг/л). Несколько завышенные значения содержания нефтепродуктов отмечались в скважинах 3, 4 и 5. Повторные пробы по скважинам 4 и 5 показали существенно меньшие значения содержания нефтепродуктов – первоначальные содержания 0,31 мг/л (скв. 4) и 0,5 мг/л (скв. 5). Повышенные содержания нефтепродуктов в воде (скв. 3, а также 4 и 5) и в грунтах (скв. 2 и 4) не увязываются.

В целом, исходя из анализов, грунтовые воды можно считать незагрязненными или слабозагрязненными.

Данные работ показали, что содержание нефтепродуктов в грунтовых водах не значительное, в среднем оно на уровне ПДК или даже ниже. Это несколько неожиданный результат, поскольку на участке размещения мазутохранилища, которое проществовало здесь около 40 лет, можно было бы ожидать интенсивного загрязнения водоносного горизонта, наличие на его поверхности слоя нефтепродуктов и т.д. Чем же может быть объяснена выявленная картина практического отсутствия нефтепродуктового загрязнения грунтовых вод? Рассмотрим возможные причины этого явления. Для этого следует обратиться к свойствам мазута. Прежде всего следует иметь в виду, что мазут – густая жидкость, вязкость которой в 30–80 раз больше вязкости воды. Кроме того, мазут – быстро застывающая жидкость, особенно при низких температурах (даже положительных). Плотность его несколько меньше единицы (~ 0,94–0,96 г/см³), но может быть и больше (достигает величин 1,04–1,06 г/см³). С учетом различия вязкости мазута и воды было оценено время (*t*) достижения мазутом уровня грунтовых вод при его инфильтрации из земляных картов.

Эти расчеты проводились для реальных разрезов зоны аэрации по данным пробуренных скважин.

Расчетная формула имеет следующий вид:

$$t = \frac{n \cdot H_0}{k} \cdot \left[\frac{m}{H_0} - \ln \left(1 + \frac{m}{H_0} \right) \right] \quad (1)$$

где *H₀* – высота столба мазута в карте (земляном хранилище), м; *m* – мощность зоны аэрации, м; *k* – коэффициент фильтрации пород зоны аэрации (м/сут) по отношению к мазуту; *n* – пористость пород зоны аэрации.

Формула (1) в представленном виде используется для расчета времени фильтрации через однородную по фильтрационным свойствам зону аэрации. Если зона аэрации, как это обычно бывает, имеет неоднородное строение, т.е. состоит из нескольких слоев пород различной литологии и, следовательно, разных фильтрационных свойств, то расчет времени фильтрации производится следующим образом. По формуле (1) находится время фильтрации (*t_i*) через каждый (*i*-й слой) с учетом мощности и коэффициента фильтрации определяемого слоя; пористость принимается одинаковой, так как она сравнительно мало изменяется в зависимости от литологии (*n* = 0,15). Общее время находится суммированием частных времен:

$$t = \sum t_i \quad (2)$$

Результаты этих расчетов показали, что в большинстве случаев время фильтрации невелико и составляет от нескольких до десятков суток. Только для скв. 3 оно было

Результаты расчетов времени продвижения грунтовых вод от контура карт до реки, (сут)

Таблица 2

Коэффициент фильтрации водоносных пород k , м/сут	Уклон потока грунтовых вод			
	$i = 0,001$		$i = 0,0005$	
	Расстояние от контура карт до уреза берега, м			
	$l = 200$	$l = 300$	$l = 200$	$l = 300$
1	82	123	164	246
3	27	40	54	80
5	16	24	32	48

существенно большим и достигало 300–500 сут. Это отличие обусловлено тем, что в разрезе скв. З присутствует слой глин мощностью 1,5 м, который имеет экранирующие свойства и задерживает движение мазута.

Поскольку мазут отличается сравнительно быстрой застываемостью, а г. Череповец относится к северным районам, можно предположить, что при медленном продвижении мазут постепенно застывает и образует непроницаемую и малоподвижную прослойку. Если это действительно так, то мазут мог просто не достичь уровня грунтовых вод, застряв в верхних слоях зоны аэрации, особенно если эти слои представлены слабопроницаемыми моренными глинами и суглинками.

При рекогносцировочном обследовании мазутохранилища было установлено, что в его основании для создания экрана был уложен слой глин. Какие это глины, какова их мощность – неизвестно. Поэтому были выполнены расчеты фильтрации через глины для разных значений их мощности (m) и разных коэффициентов фильтрации (k): $m = 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5$ и 3 м; $k = 0,01; 0,001$ и $0,0001$ м/сут. Отметим, что для глин характерны значения коэффициентов фильтрации от $0,001$ м/сут и ниже.

Расчеты показали, что время движения мазута через глины достигает тысяч и десятков тысяч суток. Так, при слое глин мощностью 0,5 м и при высоте уровня мазута в хранилище (карте) от 2 до 6 м время вертикальной фильтрации составляет от 4 до 1,5 тыс. суток (оно убывает с увеличением уровня мазута в хранилище).

Наличие слабопроницаемого слоя способствует приостановке или резкому замедлению скорости движения мазута через зону аэрации, что ведет к активации естественных процессов окисления, биодеградации, и мазут разлагается. Это отмечается и в работе [3]: "...часто бывает достаточно относительно тонкого слабопроницаемого про-пластика для того, чтобы воспрепятствовать дальнейшему распространению нефтепродукта".

Есть еще одно обстоятельство, которое обуславливает экранирующую роль слабопроницаемых отложений при движении мазута через них – это соотношение размеров пор и молекул углеводородных соединений.

В мазутах преобладают тяжелые углеводороды, в том числе смолисто-асфальтеновые компоненты, отличающиеся высокой вязкостью. Согласно Т.Б. Жузе [5], "... через сравнительно чистые глинистые породы вязкие нефти не фильтруются, а в фильтрат проходят только более легкие и маловязкие нефти". Тяжелые углеводороды (асфальтены, циклические соединения, смолы и др.) отличаются большими размерами молекул – 2–3 до 6–8 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$) [5].

Размеры пор глинистых пород согласно [4] варьируют в конкретных образцах от 0,2–0,3 до 4–6 мкм, преобладают значения от 0,2 до 1,5–2 мкм.

Сравним эти размеры пор с размерами молекул тяжелых углеводородов, свойственных мазуту. Минимальные размеры пор (0,2–0,3 мкм) в 30–80 раз превышают размеры крупных углеводородных молекул. Но при этом следует учитывать, что практически весь объем порового пространства мелких пор и 70–80% объема средних пор глинистых пород занимает связанная вода. Получается, что в средних порах свободное пространство составляет не более 20–30% от общего размера пор. Отсюда можно сделать вывод, что фильтрация нефтепродуктов через глины, в особенности крупномолекулярных углеводородных компонентов, содержащихся в мазуте, будет носить селективный, тонкоструйчатый характер (через связанные между собой наиболее крупные поры).

Может проявляться и дополнительный эффект, обусловленный указанными свойствами фильтрации углеводородов через глины: углеводороды (крупномолекулярные соединения) будут "ходить" в глину и не смогут "выйти" из нее, т.е. происходит некоторое накопление углеводородов в глинистой породе. При этом будет иметь место дифференциация углеводородов по пути их миграции по крупности молекул: на входе в глину будут "застревать" самые крупные молекулы, а небольшие будут продвигаться вглубь.

Эти факторы (экранирующая роль глин, сложность миграции крупномолекулярных углеводородных компонентов), возможно, и обусловили низкое содержание углеводородов в грунтовой воде на участке мазутохранилища.

Вместе с тем нельзя не учитывать и другие обстоятельства, а именно: если в картах хранился тяжелый мазут с плотностью больше единицы, то на участках, где глин не было, он под влиянием силы тяжести мог опуститься к подошве горизонта грунтовых вод и там остьаться.

В результате проведенных разведочных работ этого установить не удалось, поскольку скважины вскрыли только верхнюю часть водоносного горизонта. Представляется целесообразным пробурить еще 3–4 скважины глубиной 15–20 м, чтобы выявить картину распределения содержания углеводородов в грунтовых водах в средней и нижней частях водоносного горизонта.

Реабилитация территории бывшего мазутохранилища включает две задачи: планировку и рекультивацию поверхности земли и локализацию нефтепродуктового загрязнения в горизонте грунтовых вод. Первая задача может решаться независимо от второй; она включает засыпку котлованов, планировку территории и ее озеленение (или другое освоение).

Сложнее обстоял бы вопрос с локализацией нефтепродуктового загрязнения в водоносном горизонте (если бы оно было установлено) и предотвращением его выхода в р. Шексну. Еще до начала рекогносцировочных разведочных работ путем опроса и визуального обследования прибрежной зоны была сделана попытка установить проявление нефтепродуктового загрязнения в поверхностных водах на участке, к которому примыкает мазутохранилище. Если бы в водоносном горизонте было загрязнение, то оно за 40 лет существования мазутохранилища могло оказаться на качестве речных вод в указанной зоне. Однако ни по устному опросу, ни по визуальному обследованию этого выявить не удалось. Более того, в непосредственной близости от мазутохранилища находится городской пляж, на котором также не обнаруживались не только нефтяные пятна, но и следы нефтепродуктового загрязнения. Поэтому осталось предположить, что такого загрязнения вообще нет в водоносном горизонте или оно еще (за 30–40 лет) не дошло до реки.

Для проверки этого предположения сделаны расчеты времени продвижения подземных вод от контура карт до реки (табл. 2).

Для расчета были взяты следующие исходные данные: коэффициент фильтрации водоносных пород $k = 1; 3$ и 5 м/сут; пористость водоносных пород $n = 0,15$; уклон потока грунтовых вод $i = 0,001$ и $0,0005$; расстояние от контура карт до уреза берега $l = 200$ и 300 м.

Расчет выполнялся по формуле

$$t = \frac{l \cdot n}{k \cdot i} \quad (3)$$

На основе проделанных расчетов можно сделать вывод, что загрязнение подземных вод при принятых значениях исходных параметров могло как достичь, так и не достичь реки. Если бы оно достигло реки, то это отразилось бы на речных водах. Однако, как уже отмечалось выше, в поверхностных водах нефтепродуктовое загрязнение более или менее постоянного характера не обнаруживает. Следовательно, оно не достигло реки. Более того, по данным рекогносцировочного разведочного бурения нефтепродуктовое загрязнение вообще не обнаружено в водоносном горизонте.

Выводы

1. По состоянию изученности на сегодняшний день нет оснований говорить о значительном загрязнении грунтов.

2. Отпадает необходимость в проведении восстановительных и локализационных работ.

3. Было бы целесообразно разбурить 3–4 скважины на горизонт грунтовых вод глубиной 12–15 м (более глубокие скважины, чем те, которые были пробурены в процессе рекогносцировочных работ). Это позволит выяснить, имеется или отсутствует нефтепродуктовое загрязнение в более глубокой части водоносного горизонта.

4. Для контроля за состоянием грунтовых вод необходимо создать сеть наблюдательных скважин. Необходим также систематический отбор проб поверхностных вод в прибрежной зоне. Для наблюдательной сети могут использоваться уже имеющиеся скважины в береговой зоне и дополнительно разбуренные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдберг В.М. Восстановление загрязненных территорий предприятий нефтепродуктообеспечения. // Транспорт и хранение нефтепродуктов, М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1994. № 4–5. С. 21–25.
2. Гольдберг В.М. Методика оценки степени загрязнения подземных вод и грунтов в районах размещения бывших советских воинских гарнизонов за рубежом. // Тр. нем.-рус. семинара "Экологические проблемы воинских объектов, пути их решения и инфраструктурное планирование", Москва, 30 ноября – 3 декабря 1993 г. – Eine Information des Bundesumweltministeriums, 1993. С. 75–79.
3. Гольдберг В.М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984. 283 с.
4. Гольдберг В.М., Скворцов Н.П. Проницаемость и фильтрация в глинах. М.: Недра, 1986. 161 с.
5. Жузе Т.Б. Миграция углеводородов в осадочных породах. М.: Недра, 1986. 188 с.
6. Загоскин В.Н., Рябуха Н.И., Щербин М.И., Яковлев Е.И. Техническое оснащение и организация эксплуатации автозаправочных комплексов. М.: ВНИИОЭНГ, 1991. 55 с.
7. Нормы естественной убыли нефти и нефтепродуктов при приеме, отпуске, хранении и транспортировке. М.: 1977. 28 с.
8. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. М.: Минздрав СССР, 1975. 39 с.
9. Правила по технике безопасности и промышленной санитарии при эксплуатации нефтебаз и автозаправочных станций. М.: Химия, 1988, 40 с.
10. VROM, Concept Leidraad Bodemsanering, Leidschenden, afl. 4, 1988. P. II–4.

ИГЭ РАН

Поступила в редакцию
15.XI.1996

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология

5 • 1997

УДК 624.131

© 1997 г. В.Т. ТРОФИМОВ, д.г. зилинг

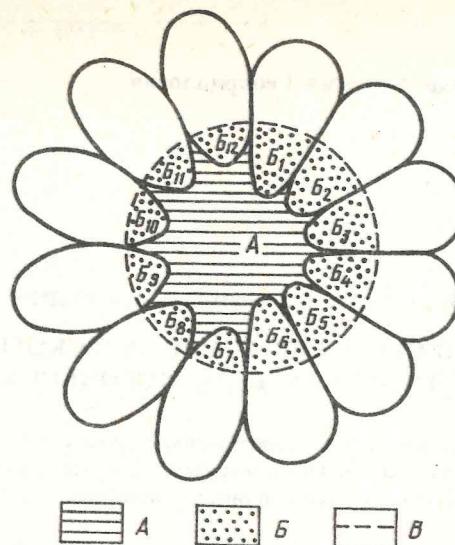
РОЛЬ И МЕСТО НАУК ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА В ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ

Определяется роль и место наук геологического цикла в формировании логической структуры экологической геологии. Она конструируется исходя из представлений о том, что в ее основе лежат знания об экологических функциях литосферы.

Экологическая геология – новое направление в геологии, изучающее приповерхностную часть литосферы как один из основных абиотических компонентов экосистем высокого уровня организации. Объект исследования экологической геологии – традиционный для наук геологического цикла: литосфера со всеми ее компонентами, а точнее, особенно в прикладном плане, ее приповерхностная часть в зоне возможного техногенного воздействия. Предмет исследования экологической геологии – знания об экологических функциях приповерхностной части литосферы (с акцентом на человеческое общество) [7, 8].

Подчеркнем, что к числу основных групп эколого-геологических задач, решаемых экологической геологией, следует относить: 1) изучение закономерностей формирования и морфологических особенностей экологических функций литосферы, их изменений под влиянием техногенеза и оценку экологических последствий этих изменений; 2) разработку теории и методов оценки устойчивости приповерхностной части литосферы к техногенным воздействиям с точки зрения изменения ее экологических функций; 3) разработку методов и рецептур управления состоянием и свойствами массивов приповерхностной части литосферы, в том числе техногенно-нарушенных и техногенно-созданных, с целью сохранения или улучшения их экологических функций; 4) разработку эколого-геологически обоснованных методов и рецептур утилизации промышленных отходов и выбор оптимальных по эколого-геологическим условиям участков и массивов их захоронения; 5) геологическое обоснование инженерной защиты территорий, объектов и сооружений от природных и антропогенных геологических процессов, способных изменить в сторону ухудшения экологические функции территории и привести к экологическим бедствиям и катастрофам [7, 8].

Центральной проблемой любого естественнонаучного значения является вопрос о логической структуре науки, включающей в себя основания науки, основные понятия, теории и идеи, законы. Исходя из представления о том, что экологическая геология является научным направлением в геологии, а не отдельной (частной) геологической наукой, ее логическая структура должна формироваться как за счет ассилияции элементов логических структур геологических наук, привлекаемых для решения экологических задач, так и своей собственной логической основы. Причем ассилияция носит не механический характер, а подчинена вполне определенным закономерностям, логике экологического подхода. Исходя из этого ясно, что общее поле логической структуры экологической геологии включает в себя определение по объему части поля логических структур различных геологических наук и свою собственную логическую основу, тот стержень, который позволяет целенаправленно использовать привлекаемые теории, идеи и законы отдельных геологических наук [8]. В схематическом виде



Принципиальная схема строения общего поля логической структуры экологической геологии: А – собственно логическая основа логической структуры экологической геологии; Б – части логической структуры геологических наук, используемых экологической геологией (B_1 – инженерная геология, B_2 – геокриология, B_3 – гидрогеология, B_4 – геохимия, B_5 – геофизика, B_6 – геология полезных ископаемых, B_7 – тектоника, B_8 – неотектоника, B_9 – минералогия, B_{10} – петрография, B_{11} – геоморфология, B_{12} – палеография); В – контуры общего поля логической структуры экологической геологии

такую трактовку проблемы отражает рисунок. Он иллюстрирует мозаичность поля логической структуры экологической геологии и дает представление о геологических науках, принимающих участие в решении экологических задач, а также о вкладе этих наук в логическую структуру экологической геологии. Не трудно заметить, что наибольший объем информации и методов исследования для экологической геологии поставляют инженерная геология, геокриология, гидрогеология, геохимия, геофизика и геология полезных ископаемых. Остальные науки геологического цикла и их логические структуры играют, как нам представляется, меньшую роль. Сделанные выводы базируются на том, что в основе экологической геологии лежат знания об экологических функциях литосферы. Их, с нашей точки зрения, три – ресурсная, геодинамическая, геофизико-геохимическая [7, 8].

Ресурсная функция концентрирует в себе знание ряда геологических наук о ресурсах литосферы, необходимых для жизни и деятельности биоты как в качестве биоценоза, так и социальной структуры (человеческого сообщества). Они охватывают минерально-сырьевые ресурсы литосферы, необходимые для жизни и деятельности человеческого сообщества как социальной структуры; растворимые минеральные биогенные элементы (элементы биофильного ряда), необходимые для жизни биоты; геологическое пространство, необходимое для расселения и существования биоты (и это следует особо подчеркнуть, поскольку об этой стороне ресурсной функции часто забывают). Ресурсные оценки включают значения о запасах пресных подземных вод. В первозданном виде ресурсы литосферы определяются природными факторами, а в эпоху интенсивного техногенеза – и социально-экономическими.

Геодинамическая функция опирается на знания геологических наук о месте, морфологии, интенсивности, причинах и закономерностях развития природных и антропогенных геологических процессов. Они охватывают проблемы динамики литосферы в результате ее природного и техногенного развития с учетом воздействия на условия существования биоценозов, включая человеческое сообщество. Геодинамическая

функция литосферы в данном контексте рассматривается в физическом времени и в эпоху техногенеза отличается заметной социальной ориентированностью.

Геофизико-геохимическая функция¹ опирается на знания геологических и смежных наук о природе геохимических аномалий и ореолах техногенного загрязнения, аномалий физических полей и их влиянии на живые организмы, и выражается через оценку санитарно-гигиенического и медико-биологического состояния территорий. Она фокусирует знания на сохранение (нормальное функционирование) экосистем как в условиях природных неоднородностей литосферы, так и в условиях ее интенсивного техногенного загрязнения.

Такое понимание экологических функций литосферы, обеспечивающих ранжирование территорий по биологической комфортности, позволяет к важнейшим элементам собственной части логической структуры экологической геологии отнести следующие положения:

1. Структура, свойства и пространственные закономерности в строении приповерхностной части литосферы и ее экологические функции есть результат историко-геологического развития во взаимодействии с внешними природными средами и техносферой;

2. Динамика (скорость, характер движения) литосферы, ее компонентов и изменение экологических функций обусловлены их природными свойствами, видом и интенсивностью взаимодействия с внешними, в том числе техногенными средами [5, 6];

3. Закон соответствия при взаимодействии организмов с окружающей средой [5, 6];

4. Закон соответствия характера развития общества и состояния природной среды (основной экологический закон) [3].

Именно эти положения формируют экологический стержень, объединяющий научные основания других наук геологического цикла.

Еще одной основополагающей проблемой любого естественнонаучного знания является вопрос об уровнях организации и таксонов объектов. Опираясь на представления И.В. Крутия [4] о "таксономическом стержне" в изучении наук геологического цикла", для экологической геологии можно принять следующие уровни организации литосферы: а) элементарный, включающий геофизический (физические поля и частицы), атомно-молекулярный (элементы, соединения), минералогико-петрографический (минералы, горные породы); б) локальный геологический (массивы горных пород, стратиграфо-генетические комплексы горных пород); в) региональный (геологические функции, структурные этажи, региональные геосистемы); г) планетарный (геоболочки). В общем виде такая структуризация литосферы достаточно хорошо корреспондирует с иерархией природно-техногенных систем, предложенных Г.К. Бондариком [1].

Каждый из выделенных таксономических уровней организации литосферы изучается определенным комплексом геологических дисциплин, каждая из которых опирается на свои теории и идеи. Так, для планетарного уровня используются научные основания главным образом тектоники, структурной геологии, геофизики и региональной геологии, для локального уровня – инженерной геологии, гидрогеологии, литологии, геохимии и геофизики, для элементарного уровня – геохимии, инженерной геологии, для исследования физических полей – геофизики.

Роль и место различных наук геологического цикла в формировании логической структуры экологической геологии с учетом ее высказанных позиций могут быть конкретизированы при рассмотрении экологических функций приповерхностной части литосферы с учетом уровней ее организации. Для наглядности это отражено в форме двурядной матрицы (таблица), по горизонтальной оси которой приведены уровни

¹ В предыдущих статьях [7, 8] авторы называли эту функцию "геохимической" и связывали ее только с изучением и оценкой природных и техногенных геохимических аномалий. В предлагаемом названии функции учитываются и аномалии физических полей. Это существенно расширяет объем знаний по проблемам, объединенных единым критерием оценки – медико-биологического состояния биоты и санитарно-гигиенического состояния территории.

Экологические функции литосферы	Уровни организации литосферы			
	планетарный	региональный	локальный	элементарный
Ресурсная	Геология полезных ископаемых, гидрогеология	Геология полезных ископаемых, инженерная геология, геокриология, структурная геология	Минералогия, петрография, геология полезных ископаемых, гидрогеология, инженерная геология, геокриология	-
Геодинамическая	Инженерная геология, неотектоника, динамическая геология, геофизика, геокриология	Инженерная геология, геокриология, неотектоника, геоморфология, геофизика, гидрогеология	Инженерная геология, геокриология, гидрогеология, геоморфология, палеогеография	Инженерная геология, геокриология
Геофизико-геохимическая (медицинско-санитарная)	-	Геохимия, гидрогеология, геофизика, неотектоника	Геохимия, гидрогеология, неотектоника, геофизика, инженерная геология	Геохимия, геофизика, инженерная геология

организации литосферы, а по вертикальной оси – экологические функции литосферы, которые определяют перечень и характер основных эколого-геологических задач. На пересечениях этих рядов перечислены науки геологического цикла, обеспечивающие решение этих задач. Именно основания этих наук и их научных направлений формируют теоретический базис, на основе которого решается та или иная эколого-геологическая проблема.

Как следует из таблицы, ресурсные функции литосферы на планетарном уровне изучаются преимущественно геологией полезных ископаемых и гидрогеологией. На региональном уровне к ним подключаются инженерная геология и геокриология. На локальном уровне приоритет переходит к минералогии, петрографии и гидрогеологии, инженерной геологии и криолитологии. При изучении геодинамических функций литосферы на всех уровнях организации литосферы доминирует инженерная геология, криолитология и динамическая геология. Остальные науки геологического цикла играют несколько меньшую роль. При изучении геофизико-геохимических (медицинско-санитарных) функций литосферы доминируют геохимия, гидрогеология и геофизика.

Это принципиальная схема на уровне геологических наук (без детализации по научным подразделениям этих наук), дающая общее представление по рассматриваемому вопросу. Представляется интересным на конкретном примере показать, как эта схема реализуется при решении достаточно узкой эколого-геологической задачи. В качестве такового можно рассмотреть изучение геопатогенных зон – зон биологического дискомфорта, обусловленных геологическими неоднородностями литосферы. В последние годы они были изучены в районе г. Санкт-Петербурга [5], Белоруссии [2] и других областях. Для этих целей широко использовались геофизические и геохимические методы: сейсмометрия, магнитометрия, электрометрия, радиометрия, атомо-геохимический (газовый) метод и метод флюидных и расплавленных включений газов в минералах. При неотектонических исследованиях широко применялись палеогеографические реконструкции, дешифрирование космо- и аэрофотоснимков с использованием ландшафтной индикации, карты разломной тектоники. Вещественный состав заполнителя разрывных нарушений (его физические свойства) изучались методами инженерной геологии. Таким образом, при решении поставленной задачи были "задействованы" геологические науки и их методы, связанные с изучением геофизико-геохимической (медицинско-санитарной) функции литосферы на региональном и локальном уровнях ее организации.

Полученная в ходе этих работ информация составила то геологическое обоснование, которое было использовано при проведении биолого-географических исследований. Их результаты были "положены" на геологическую основу, что позволило составить карту взаимосвязи заболеваемости раком населения г. Санкт-Петербурга с геопатогенными зонами.

Итогом этих комплексных исследований, в основе которых лежит эколого-геологическая информация, стала карта районирования территории по степени биологической комфортности, на основе которой могут приниматься управляющие социально-экономические и экологические решения. В первую очередь это выбор мест и структуры новой застройки или реконструкции существующей. Это касается выбора оптимальных мест для размещения детских учреждений, больниц, транспортных артерий, а на уровне районной и городской планировки – расположения жилых, промышленных и селитебных зон. Все эти мероприятия преследуют одну цель – сохранение или улучшение состояния здоровья населения, снижение смертности и травматизма.

Приведенная информация позволяет сделать несколько выводов.

1. Установление биологической комфортности территории в зависимости от экологических функций литосферы – задача сложная и не может быть решена в рамках одной традиционной науки геологического цикла. Она требует комплексного изучения и привлечения теорий и методов нескольких, а часто и многих геологических наук.

2. Эколого-геологические исследования должны всегда проводиться целенаправленно и быть ориентированы на конечную цель – анализ влияния литосферы, ее экологических функций на формирование и изменение условий существования биоты, в том числе и человеческого общества. При этом могут и должны широко использоваться традиционные геологические методы.

3. Роль разных наук геологического цикла в эколого-геологических исследованиях неодинакова и зависит от характера рассматриваемой задачи, анализа той или иной экологической функции литосферы и изучаемого уровня ее организации. Однако, несмотря на такую дифференциацию, можно выделить группу геологических наук, теории, законы и методы которых используются наиболее часто, – это геохимия, инженерная геология, гидрогеология, геология полезных ископаемых, геофизика и геокриология.

4. Выполнение эколого-геологических исследований должно проводиться в рамках единого научного направления, ответственного за оценку экологических функций литосферы, а не рассредотачиваться по отдельным наукам. Такое направление и предложено называть экологической геологией, считая ее основной pragmatической задачей обеспечение экологически ориентированной геологической информацией управляющих решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бондарик Г.К. Новый этап инженерной геологии // Инж. геология. 1989. № 4. С. 115–120.
- Гарецкий Р.Г., Карамаев Г.И. Основные проблемы экологической геологии // Геоэкология. 1995. № 1. С. 28–35.
- Гирусов Э.В. Законы системного единства общества и природы // Проблема взаимодействия общества и природы / Под ред. Т.С. Хачатурова. М.: Изд-во МГУ, 1981.
- Крутъ И.В. Введение в общую теорию Земли. М.: Мысль, 1978. 351 с.
- Мельников Е.К., Рудник В.А., Мусийчук Ю.Н., Рымарев В.Н. Патогенное воздействие зон активных разломов земной коры Санкт-Петербургского региона // Геоэкология. 1994. № 4. С. 50–69.
- Одум Ю. Экология. М.: Мир, 1986. Т. I. 325 с.; Т. II. 373 с.
- Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Содержание, объект и предмет экологической геологии // Программа "Университеты России". Геология. Кн. 2. М.: Изд-во МГУ, 1995. С. 89–96.
- Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология и ее логическая структура // Вестн. МГУ Сер. 4. Геология. 1995. № 4. С. 33–45.

МГУ

Поступила в редакцию
18.I.1996

УДК 624.131

© 1997 г. С.И. МАЗУХИНА, Г.В. КАЛАБИН, В.К. КАРЖАВИН,
И.К. КАРПОВ

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ НЕФЕЛИНА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КИСЛЫХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

Исследовали процесс выветривания нефелина методом физико-химического моделирования с целью оценки опасности загрязнения вод за счет стоков с хвостохранилищ в водоемы. Установлено, что ряд новообразованных минералов и ионов в жидкой фазе являются продуктами интенсивного растворения нефелина в воде. Атмосферное воздействие на процесс растворения нефелина расширяет спектр продуктов его разложения, снижая щелочность жидкой фазы. Выпадение кислотных дождей стимулирует интенсивное разложение нефелина с образованием вторичных минералов, химических соединений и водных комплексов на основе алюминия, кремния, натрия. Образующаяся при этом щелочная жидккая фаза с продуктами растворения нефелина в виде муты и взвесей переносится на значительные расстояния, попадает в близлежащие водные бассейны, и негативно влияет на экосистемы.

Горнодобывающая и металлургическая индустрия активно влияют на естественно сформированные геохимические циклы в окружающей природной среде. Извлеченные из недр, обогащенные и складированные в отвалах руды и отходы обогащения представляют собой серьезную экологическую опасность прежде всего для водных ресурсов вследствие высвобождения и миграции элементов в водные объекты. Особенностью глубинных породообразующих минералов, извлеченных на поверхность является их нестабильность и переход в более устойчивые соединения в новых физико-химических условиях.

Нефелин является характерным минералом щелочных пород как первичный компонент интрузивных и ряда других пород. Особенностью нефелина как породообразующего минерала является его способность к образованию различных продуктов разложения (выветривания) под воздействием низкотемпературных гидротермальных растворов при нормальном атмосферном давлении. Продуктами такого превращения нефелина являются анальцим, канкринит, содалит, натролит, томсонит и др. [4]. Кроме того, известно [15], что образующиеся при выветривании нефелина щелочные растворы растворяют кремнезем с образованием щелочных силикатов и переводом в раствор ряда амфотерных оксидов (Al_2O_3 , BeO и др.). Также широко известно, что экологическую опасность при химическом выветривании создает переход в ионные, наиболее токсичные формы таких элементов, как Al , Mn , Zn , Ni , Cd и др. Аналитические методы не позволяют восстановить весь комплекс физико-химических превращений, изменяющих геохимический круговорот элементов и усиливающих токсичность среды.

С нефелиновыми сиенитами Хибинского щелочного массива связаны месторождения апатито-нефелиновых руд, используемых для производства минеральных удобрений. Многолетние исследования Хибин дали много нового в познании геологии и минералогии этого интереснейшего массива. Опыт работы обогатительных фабрик АО "Апатит" показал, что появление в руде тонкодисперсных минералов (продуктов разложения нефелина) из зон выветривания, как правило, приводит к серьезным

нарушениям технологической схемы обогащения апатито-нефелиновых руд. В связи с этим представляет определенный научный интерес выявление условий образования новых минералов при антропогенном воздействии на горные породы массива.

В течение многих лет за счет складирования хвостов апатито-нефелиновых обогатительных фабрик в предгорьях Хибин сформирован ряд техногенных месторождений. Объем их составляет более 650 млн.т. Основным компонентом (55–65%) является нефелин – ценнейшее сырье для производства глинозема, соды, поташа, солей алюминия и щелочных элементов, кремнезема и многих других дефицитных продуктов [7]. Данный породообразующий минерал представлен в основном в виде мелкодисперсной формы с развитой активной поверхностью, что способствует более интенсивному преобразованию его под воздействием атмосферных осадков. При этом различные формы продуктов растворения нефелина, попадая в систему стоков водосборных бассейнов Кольского полуострова, способствуют росту потенциальной возможности загрязнения подземных вод и наземных водных экосистем. Широко известно, что кислотные осадки значительно ускоряют процессы химического выветривания элементов. Для Кольского Севера установлены эффекты повышения содержания элементов, и особенно Al , в закисленных водоемах [16].

Детальное исследование условий образования продуктов разложения нефелина и выяснение закономерностей их распределения представляют не только теоретический, но и большой практический интерес.

Методика исследования

Несмотря на большое количество работ, посвященных исследованию продуктов выщелачивания нефелина, в настоящее время необходим количественный анализ всех факторов процесса выветривания, что даст возможность обосновать четкие условия образования вторичных минералов [1–3, 6]. Физико-химическая теория минералообразования в неравновесных природных системах [12] и теоретические основы моделирования на ЭВМ в геохимии [10] позволили по-новому интерпретировать последовательность необратимого формирования минеральных зон в профиле коры выветривания и прогнозировать основные направления эволюции процессов взаимодействия с системе газ – вода – порода в термодинамических условиях земной поверхности [11]. В основу метода физико-химического моделирования природных процессов минералообразования положены: нахождение минимума свободной энергии рассматриваемой мультисистемы и принцип частичного равновесия, допускающий наличие равновесных состояний между раствором, растворенными компонентами и новообразованными фазами в процессе необратимого и в целом неравновесного взаимодействия фильтрующейся воды с замещаемым эдуктом. Например, система, содержащая твердую fazу и раствор, с которым эта fazа несовместима и в котором начинает растворяться, в целом неравновесна. Тем не менее в результате реакции твердой fazы с раствором может образоваться новый вторичный продукт, совместимый с раствором. Причем, несмотря на установившееся равновесие между вторичным продуктом и раствором, первичная порода продолжает реагировать с жидкой fazой, и процесс продолжается [11]. Таким образом, согласно принципу частичного равновесия, процесс необратимого растворения можно представить как ряд последовательных элементарных этапов. Основная особенность приложения принципа частичного равновесия – выбор в качестве независимой переменной степени протекания процесса. В каждой точке этой независимой координаты необратимого процесса успевает установиться полное химическое равновесие в системе. Совокупность таких решений позволяет представить хронологическую или пространственную последовательность изменений в системе, происходящих в ней на пути к равновесию.

Цель данной работы – изучение на базе модельных систем процесса растворения нефелина при различном соотношении твердая fazа – жидкость (модель степени

протекания процесса (v) в данном контексте будет интерпретироваться как часть прореагированной породы) и оценка влияния атмосферных осадков на процесс выщелачивания исследуемого минерала.

Результаты и обсуждение

Принята за основу исследуемая модельная система содержала в своем составе пять независимых компонентов: Si – Al – Na – H – O. Расчетная матрица мультисистемы представлена 45 зависимыми компонентами (минералы, химические соединения и ионы), объединенные в водную (19 компонентов), газовую (2 компонента) и твердые фазы (24 компонента). Компьютерное моделирование проводилось с помощью модифицированного варианта программы "Селектор" для персонального компьютера [9, 10]. Используемые в расчетах термодинамические свойства зависимых компонентов модельной системы взяты из ранее опубликованной работы [5]. Термодинамические свойства натролита, одного из продуктов разложения нефелина, рассчитаны нами согласно методик, применявшимся ранее [8]. Температура и общее давление в модельной системе приняты стандартными (298,15 К, 1 атм.). Система закрыта к атмосферному воздуху.

Результаты физико-химического моделирования взаимодействия 1 кг воды с 1 молем нефелина в зависимости от степени протекания процесса представлены на рис. 1 в координатах $\lg m$ – $\lg v$, где m – число молей выпадающих минералов и зависимых компонентов водного раствора на 1 кг H_2O , а v – степень протекания процесса взаимодействия водного раствора с минералом (нефелином). Согласно этим данным, на начальном этапе растворения нефелина (10^{-6} моля, или $-\lg v = 6$) первым образуется минерал гиббсит при относительно небольшой щелочности в жидкой фазе (рН 7,89) с одновременным образованием широкого спектра ионов на основе кремния и алюминия. Последующее растворение нефелина способствует более интенсивному увеличению концентрации в жидкой фазе кремнесодержащих и некоторых алюминийсодержащих ионов с одновременным образованием новой твердой фазы – каолинита (рН 9,38; $-\lg v = 4,5$). Затем образуется анальцим – естественный продукт гипергенеза рассматриваемого пордообразующего минерала ($-\lg v = 1,5$; рН 12,01). Ввиду отсутствия в исследуемой системе элементов переменной валентности величина окислительно-восстановительного потенциала стабильна в течение всего модельного эксперимента.

Открывая моделируемую систему для контакта с атмосферой и с вероятными кислотными (азотсодержащими) дождями, предусмотрели увеличение как независимых компонентов (до 7), так и зависимых (до 66). На данном этапе исследования за основу был взят 1 кг атмосферного воздуха в молях следующего состава: $N_{53,948} C_{0,0136} H_{0,348 \cdot 10^{-6}} O_{14,464}$ [14]. Согласно такому составу атмосферы, при 100% влажности, 25°C и давлении 1 атм конденсируется жидккая фаза (рН 5,6) [13]. Общеизвестно, что незагрязненные атмосферные осадки в присутствии CO_2 и отсутствие других примесей имеют рН 5,6.

В условиях открытой системы (100 кг атмосферы) под воздействием фильтрующихся дождевых вод с изменением щелочности среды меняются концентрация и характер образования вторичных минералов (рис. 2, а).

Изменение содержания нефелина в системе от 0,1 до 0,5 моля сопровождается образованием гиббсита и каолинита (при рН от 9,39 до 9,69) с явным преобладанием каолинита.

Увеличение содержания нефелина в системе до 0,7 моля приводит к появлению в системе анальцима (рН 9,7).

Когда содержание нефелина в системе достигает 1,5 моля, новообразованными продуктами его разложения являются только гиббсит и анальцим (рН 9,8).

При достижении концентрации нефелина в системе 4 молей дополнительно к указанным минералам появляется натролит (рН 10,07).

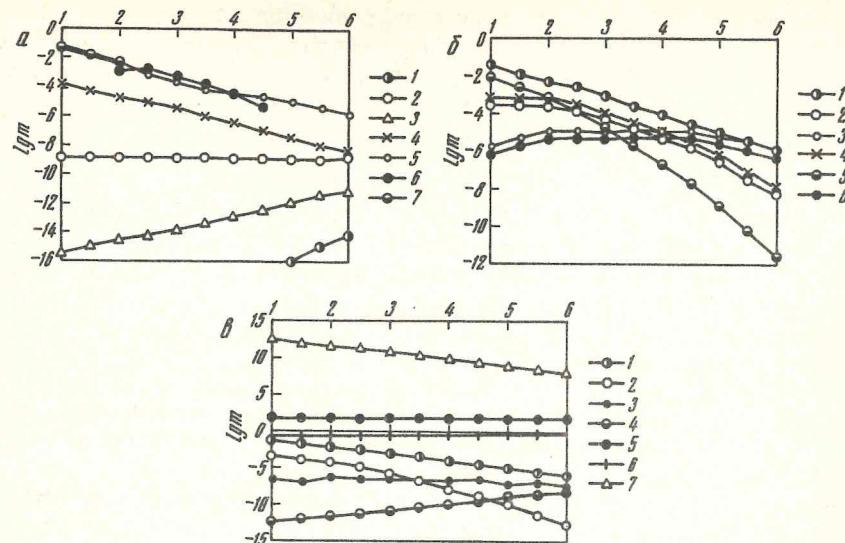


Рис. 1. Последовательность (а, б, в) формирования минералов, изменение рН и содержание комплексов Al, Na, Si в водном растворе в зависимости от степени протекания реакции в процессе выщелачивания нефелина ($P_{\text{общ}} = 1$ атм, $T = 25$ С, система закрыта): а – 1 – $Al(OH)^{+2}$, 2 – $Al(OH)^*$, 3 – $Al(OH)_2^+$, 4 – $Al(OH)_4^-$, 5 – $Al(OH)_3$, б – каолинит, 7 – анальцим; б: 1 – OH^- , 2 – $HSiO_3^-$, 3 – $H_4SiO_4^*$, 4 – $H_3SiO_4^-$, 5 – $H_2SiO_4^{-2}$, 6 – SiO_2^* ; в: 1 – Na^+ , 2 – $NaHSiO_3$; 3 – H_2 , 4 – H^+ , 5 – H_2O , 6 – Eh, 7 – pH

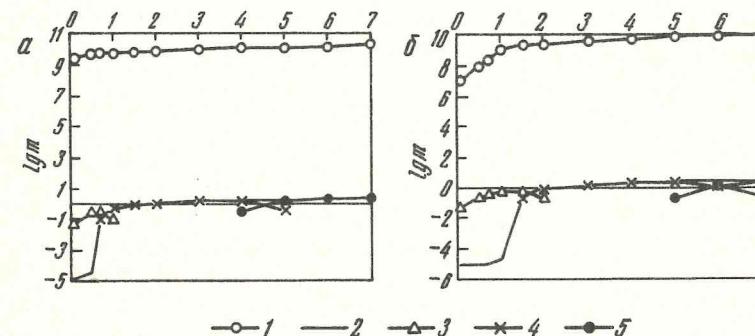


Рис. 2. Изменение содержания вторичных минералов (lgm) в зависимости от концентрации нефелина в системе, моль. а – система открыта к атмосфере, б – система открыта к атмосфере и NO: 1 – pH; 2 – $Al(OH)_3$; 3 – каолинит; 4 – анальцим; 5 – натролит

Последующее увеличение в системе концентрации нефелина (до 6 молей) приводит к образованию гиббсита и натролита. Щелочность в системе при этом достигает максимальной величины рН 10,1. В жидкой фазе кроме указанных выше (рис. 1) отмечается появление новых углеродсодержащих ионов и соединений: HCO_3^- , CO_3^{2-} , $NaCO_3^-$, H_2CO_3 , $NaHCO_3^*$. Образованием в жидкой фазе указанных ионов и объясняется снижение щелочности в системе.

В районе деятельности горнодобывающих предприятий основными источниками загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу, являются массовые взрывы и автотранспорт. Продукты горения и взрыва, попадая в атмосферу, оказывают негативное влияние на окружающую среду, являясь причиной выпадения щелочных и кислотных дождей.

Исследование процесса выщелачивания нефелина под воздействием агрессивных атмосферных осадков (1 моль NO₃⁻ в газовой фазе на 100 кг атмосферы формирует осадки со значением pH 4 [13]) показало, что в жидкой фазе, наряду с уже перечисленными, образуются азотсодержащие соединения HNO₃, NaNO₂, NaNO₃ и ионы NO₃⁻, NO₂⁻, снижающие щелочность среды. Такие условия способствуют образованию каолинита и анальцима, подавляя процесс образования гибсита и натролита (рис. 2, б).

Моделирование процесса выщелачивания нефелина при различных режимах позволило установить условия образования вторичных минералов, переход части компонентов, изменяющих качество воды, в раствор и образование ионных форм Al, представляющих высокую токсичность [17].

Выводы

1. Растворение нефелина – инконгруэнтный процесс, идущий с образованием новых минералов и переходом части компонентов в раствор (алюминия, кремния, натрия), что приводит к повышению щелочности водной фазы.

2. Гибсит является основным продуктом разложения нефелина, когда система закрыта к доступу атмосферного воздуха и при условии непрерывного поступления чистой воды, поскольку при появлении кремнезема в растворах образуются аллюмосиликаты, в частности каолинит.

3. Каолинит является основным продуктом разложения нефелина, когда система становится открытой к атмосферному воздействию.

4. Образование кислотообразующих веществ и ионных форм Al, под воздействием атмосферных осадков, в комбинации определяет высокую токсичность для водной фауны и ухудшает качество вод.

5. Наиболее полное выявление возможных водных комплексов Al, Na, Si может представлять практический интерес для технологов при целевом избирательном выщелачивании компонентов.

6. Атмосферное воздействие на процесс растворения нефелина расширяет спектр продуктов его разложения, снижая щелочность жидкой фазы. Влияние кислотных дождей стимулирует интенсивное разложение данного минерала с образованием ряда вторичных минералов и химических соединений (в основном также хорошо растворимых в воде) и водных комплексов на основе алюминия, кремния, натрия. Образующаяся при этом щелочная жидкая фаза с продуктами растворения нефелина в виде мути извесей может переноситься на значительные расстояния, попадая в близлежащие водные бассейны, что приводит к негативным экологическим последствиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выветривание горных пород по экспериментальным данным / Под ред. Мирзоева М.Д. М.: Недра, 1984. 128 с.
2. Гаррелс Р., Маккензи Ф. Эволюция осадочных пород. Т. 58. М.: Мир, 1974. 273 с.
3. Голованов Г.А. Флотация кольских апатитсодержащих руд. М.: Химия, 1976. 216 с.
4. Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. Т. 4. М.: Мир, 1966. 482 с.
5. Дорогокупец П.И., Карпов И.К., Лашкевич В.В. и др. Изобарно-изотермические потенциалы минералов, газов и компонентов водного раствора в программном комплексе "Селектор" // Физико-химические модели в геохимии. Новосибирск: Наука, 1988. 124 с.
6. Дорфман М.Д. Минералогия пегматитов и зон выветривания в ийолит-уритах горы Юкспор Хибинского массива. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 168 с.
7. Захаров В.И. Химико-технологические основы и разработка новых направлений комплексной переработки и использования щелочных аллюмосиликатов: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 1994. 54 с.
8. Каржавин В.К. Термодинамические свойства эвдиалита // Геохимия. 1993. № 11. С. 1600–1604.
9. Карпов И.К. Локальный принцип и алгоритмы расчета на ЭВМ необратимой эволюции геохимических систем // Докл. АН СССР. 1972. Т. 205. № 1. С. 209–212.
10. Карпов И.К. Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии, Новосибирск: Наука, 1981. 247 с.
11. Кашик С.А., Карпов И.К. Формирование минеральной зональности при различных режимах протекания процессов выветривания // Физико-химические модели в геохимии. Новосибирск: Наука, 1988. С. 160–177.
12. Коржинский Д.С. Физико-химические основы анализа парагенезисов минералов. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 184 с.
13. Мазухина С.И. Физико-химическое моделирование процесса образования кислотных осадков и их взаимодействия с нефелинсодержащей пылью // Тез. докл. II Всесоюз. сов. "Физико-химическое моделирование в геохимии и петрологии на ЭВМ". Т. 2. Иркутск, 1988. С. 149.
14. Морская химия. / Под ред. Ильинчева В.И. М.: Мир, 1972. 152 с.
15. Щербина В.В. Основы геохимии. М.: Недра, 1972. 296 с.
16. Moiseenko T.I. Acidification and Critical Loads in Surface Waters: Kola, Northern Russia // Ambio. 1994. V. 23. № 7. P. 418–424.
17. Rosseland B.O., Blacar I.A., Bulger A. et al. The mixing zone between limed and acidic river waters: complex aluminium chemistry and extreme toxicity for salmonids // Environ. Pollut. 1992. V. 78. P. 3–8.

Институт проблем промышленной
экологии Севера КНЦ РАН

Поступила в редакцию
20.X.1995

УДК 624.131

© 1997 г. В.И. РЕЧИЦКИЙ, С.А. ЭРЛИХМАН

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ НА СДВИГ ПО ТРЕЩИНАМ

Рассматриваются современные аналитические методы определения прочности на сдвиг по трещинам в скальных массивах. Описываются способы получения основных исходных параметров, приводятся необходимые расчетные зависимости для трещин без заполнителя и со слабым заполнителем. Анализируется влияние масштабного фактора на сдвиговую прочность трещин.

1. ВВЕДЕНИЕ

Прочность на сдвиг по трещинам – одна из важнейших характеристик скальных массивов, от которой зависит их устойчивость. Наиболее достоверно эта характеристика, как известно, определяется по данным натурных крупномасштабных испытаний, проводимых на типичных фрагментах трещин. Однако такие испытания весьма трудоемки и дороги. В последнее время от них часто отказываются либо, в лучшем случае, проводят в весьма ограниченном количестве, поэтому отечественными и зарубежными специалистами уделяется большое внимание разработке аналитических методов определения прочности на сдвиг по трещинам, в основе которых лежат теоретические или эмпирические зависимости.

На сегодняшний день существует достаточно большое число соответствующих методов расчета, среди которых отметим методы, предложенные (в хронологическом порядке) Б.Д. Зеленским [3], М.Н. Гольдштейном и др. [2], Ф. Паттоном [18], Б. Ладани и Г. Арчамболем [14], С.Б. Уховым и В.Н. Бурлаковым [9], Э.Г. Газиевым [1], Н. Бартоном [10], М. Маноиловичем и др. [16], С.Е. Могилевской [5], Ю.А. Фишманом [8], Д.Д. Сапегиным и Р.А. Ширяевым [7], В. Лейхнитцем [15], Т. Кимурой и Т. Есаки [13]. В ряде случаев эти методы отличаются весьма незначительно, некоторые из них дополняют другие.

К сожалению, аналитические методы, разработанные отечественными специалистами, как правило, недостаточно апробированы натурными и/или модельными исследованиями. По-видимому, во многом по этой причине в нашей стране до сих пор отсутствует общепринятая расчетная методика определения прочности на сдвиг по трещинам. Наиболее экспериментально апробированным в настоящее время следует считать метод норвежского ученого Н. Бартона [10, 11 и др.], получивший широкое распространение за рубежом. Однако в отечественной практике проектирования скальных откосов и сооружений этот метод используется пока еще весьма редко.

Одним из недостатков большинства существующих расчетных методов (как отечественных, так и зарубежных) является отсутствие конкретных рекомендаций по учету влияния заполнителя трещин на величину прочности на сдвиг. Относительно мало опубликовано работ по изучению роли масштабного фактора, результаты некоторых исследований в этом вопросе противоречат друг другу.

Вышесказанное свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования расчетных способов оценки прочности на сдвиг по скальным трещинам, учета при этом современного мирового опыта исследований.

В настоящей работе приводится рекомендуемый авторами подход к определению сдвиговой прочности трещин в скальных массивах, который, как они надеются, будет способствовать повышению достоверности оценки устойчивости как самих массивов, так и возводимых на них (в них) сооружений.

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Выбор систем трещин и отдельных трещин для оценки прочности на сдвиг по ним должен определяться целями исследований. Как правило, следует выделять неблагоприятно ориентированные системы трещин, по которым возможно смещение массива или сооружения в процессе его строительства и эксплуатации.

Необходимо различать трещины, имеющие заполнитель, от трещин без заполнителя. В большинстве случаев даже при небольшой мощности слабого заполнителя имеет место заметное уменьшение прочности трещин.

Следует учитывать, что прочность на сдвиг по трещинам одной и той же системы может различаться в зависимости от зоны сохранности массива. Опыт показывает, что в менее сохранных породах (зоны выветривания, разгрузки) сдвиговая прочность по трещинам снижается.

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на прочностные свойства трещин в скальных массивах, является морфология их поверхностей. В первую очередь это касается сомкнутых трещин (трещин без заполнителя). Значение морфологии поверхностей трещин снижается по мере того, как увеличивается раскрытие трещин или мощность заполнителя, или степень любого предшествующего смещения.

Морфология поверхностей трещин может быть охарактеризована двумя параметрами: волнистостью (крупной волнообразной неровностью) и шероховатостью (мелкой неровностью). Волнистость поверхностей сомкнутых трещин вызывает их расширение во время сдвигового перемещения, так как соответствующие неровности достаточно крупны, чтобы их можно было срезать. Элементы шероховатости имеют тенденцию разрушаться во время сдвига; если же уровни напряжения малы, то происходит расширение трещин.

Различные масштабы неровностей трещин показаны на рис. 1, где также схематично изображены фрагменты трещин, вовлекаемые в лабораторные и полевые испытания на сдвиг.

Первые сантиметры смещения по трещине (иногда первые десятки сантиметров), как правило, контролируются шероховатостью трещин. Поскольку такие смещения в большинстве практических случаев являются недопустимыми для расположенных на скальных массивах сооружений, характер шероховатости трещин имеет первостепенное значение. Методика изучения шероховатости трещин и требуемые для этого приборы и приспособления подробно рассматриваются в работах [4, 6].

Прочность на сдвиг по трещинам без заполнителя в значительной степени определяется также величиной угла трения по поверхности трещин и прочностью на сжатие скальной породы, слагающей их стенки. Известно, что площадь контакта смежных поверхностей трещин весьма мала, в результате действующие напряжения местами приближаются к прочности на сжатие материала стенок трещин или даже превосходят ее. Угол трения и прочность стенок трещин могут уменьшаться, иногда существенно, в результате процессов механического или химического выветривания.

Для трещин с заполнителем большое значение имеют мощность, тип и состояние последнего.

Для изучения морфологии поверхностей трещин и получения другой необходимой исходной информации следует выделять в пределах скального массива специальные площадки (обнажения), характерные для рассматриваемой трещины или системы трещин. Размер и количество таких площадок определяются в первую очередь нали-

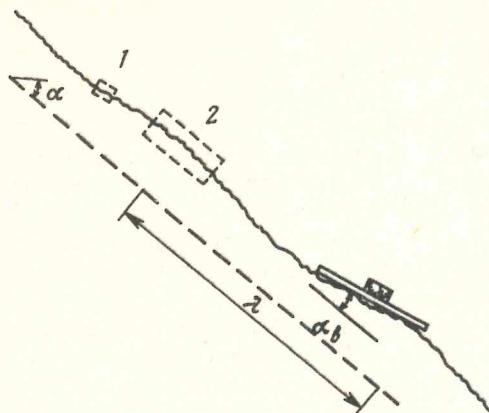


Рис. 1

Рис. 1. Профиль скальной трещины с различными порядками неровностей поверхности: 1 – масштаб лабораторных сдвиговых испытаний, 2 – масштаб полевых испытаний; α_b – угол волнистости, α – общий угол падения трещины, λ – длина волны

Рис. 2. Стандартные профили трещин (справа указаны соответствующие значения коэффициентов шероховатости $K_{ш}$)

чим соответствующих участков обнажений на дневной поверхности и/или в подземных выработках.

Способы получения основных исходных параметров для оценки прочности на сдвиг по трещинам приводятся ниже.

3. ОПИСАНИЕ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ

3.1. Трещины без заполнителя

Определение прочности на сдвиг по таким трещинам рекомендуется проводить по следующим формулам:

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \left[\varphi_{ост} + K_{ш} \lg \left(\frac{R_{ct}}{\sigma} \right) \right], \quad \sigma < \sigma_*; \quad (1)$$

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} (\varphi_{ост} + \alpha_b), \quad \sigma \geq \sigma_*. \quad (2)$$

В формулах (1) и (2): σ – нормальное напряжение на поверхности трещины, $K_{ш}$ – коэффициент шероховатости трещины, R_{ct} – прочность на сжатие стенок трещины, $\varphi_{ост}$ – остаточный угол трения, α_b – угол крупной волнистости; величина нормального напряжения σ_* находится по формуле

$$\sigma_* = \frac{R_{ct}}{10^{\alpha_b/K_{ш}}}. \quad (3)$$

В случае отсутствия у рассматриваемой трещины крупной волнистости ($\alpha_b = 0$) расчеты ведутся по зависимости (1).

Формула (1) носит эмпирический характер и получена Н. Бартоном [10] на основе многочисленных экспериментальных исследований на образцах трещин и качественно

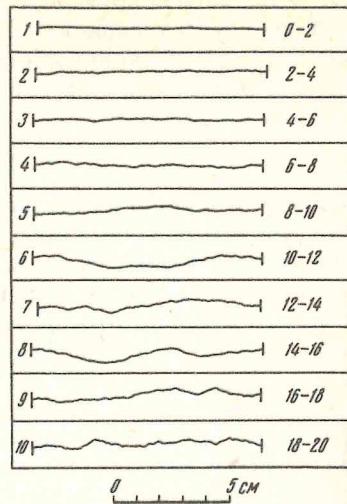


Рис. 2

изготовленных моделях естественных трещин с различной морфологией поверхности и разной прочностью материала стенок на сжатие. Она получила в настоящее время наиболее широкое распространение в зарубежной практике при рассмотрении устойчивости скальных откосов, сооружений на скальных основаниях, а также разнообразных подземных выработок.

Зависимость (1) предполагает, что существуют три компонента прочности на сдвиг по трещине, обусловливаемые:

величиной трения по плоской, свежей или выветрелой, поверхности трещины, определяемой углом трения $\varphi_{ост}$;

шероховатостью трещины, определяемой коэффициентом шероховатости $K_{ш}$;

разрушением выступов на поверхности трещины, определяемым соотношением R_{ct}/σ .

Входящие в расчетные зависимости исходные параметры определяются следующим образом.

Коэффициент шероховатости трещин $K_{ш}$ может быть получен одним из трех способов:

сравнением профиля рассматриваемой трещины со стандартными профилями;

способом статистической обработки профиля трещины;

обратным способом – в результате анализа данных одного упрощенного опыта на сдвиг.

Каждый из указанных способов имеет свои преимущества и недостатки. Наиболее простым является первый способ, заключающийся в визуальном сравнении полученного профиля трещины с набором стандартных профилей, для которых величины $K_{ш}$ установлены в результате большого числа выполненных сопоставительных опытов. На рис. 2 показано 10 стандартных профилей трещин и указаны соответствующие им коэффициенты шероховатости $K_{ш}$. К недостаткам данного способа относится ограниченность масштаба сравнения (10 см), а также определенная субъективность визуального способа оценки шероховатости трещин.

В основе второго способа лежит статистический анализ профиля трещин [20]. Стандартный профиль делится на максимально возможное число интервалов (участков), определяемое точностью построения профиля, проводятся замеры ординат концов этих интервалов относительно выбранной базисной линии и подсчитывается величина z , характеризующая степень неровности поверхности трещины:

$$z = \sqrt{\frac{1}{N(\Delta x)^2} \sum_{i=1}^N (y_{i+1} - y_i)^2}, \quad (4)$$

где Δx – размер (по горизонтали) единичного интервала, на которые разбивается профиль трещины (рис. 3); N – общее количество интервалов разбиения (обычно не менее 100–200); y_i и y_{i+1} – ординаты концов i -го интервала.

После определения величины z находится искомый коэффициент шероховатости трещины:

$$K_{ш} = 32,20 + 32,47 \lg z. \quad (5)$$

Формула (5) выведена в результате сопоставительных расчетов, выполненных для стандартных профилей трещин. Получена высокая степень тесноты связи между величинами $K_{ш}$ и z , характеризуемая коэффициентом корреляции 0,986. Ввиду трудоемкости вычислений процесс определения величины z рекомендуется автоматизировать.

Недостатком данного способа является неучет направления сдвига вдоль трещины. Для явно анизотропных по прочности на сдвиг трещин, например пилообразного профиля (рис. 4), подсчитанная по формуле (5) величина $K_{ш}$ будет представлять собой некоторое среднее значение, которое в действительности не реализуется. В этом случае рекомендуется вводить в рассмотрение так называемые псевдотрещины, показан-

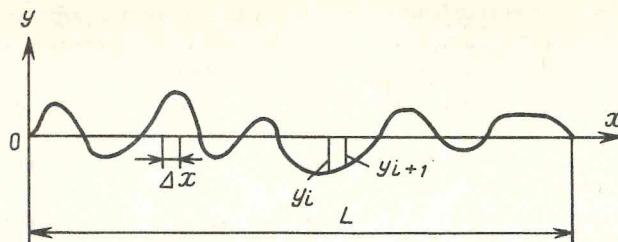


Рис. 3. К статистической обработке профиля трещины (горизонтальный и вертикальный масштабы не совпадают)

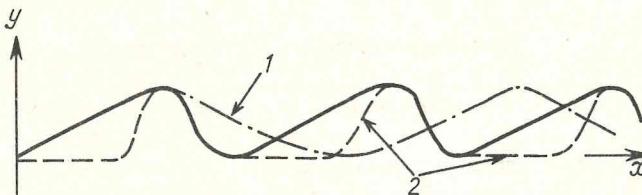


Рис. 4. Профиль трещины с явно анизотропными сдвиговыми характеристиками (горизонтальный и вертикальный масштабы не совпадают)
1 – псевдотрещина 1, 2 – псевдотрещина 2

ные на рис. 4 пунктирными линиями. При сдвиге вдоль зубцов трещины последняя заменяется псевдотрещиной 1, при сдвиге против зубцов – псевдотрещиной 2. Справедливость подобной замены следует из физической сущности сдвигового смещения по зубчатым трещинам, когда в одном направлении "работают" только пологие стороны выступов, в другом – только крутые. Вычисленные для указанных псевдотрещин коэффициенты шероховатости будут характеризовать сопротивление сдвигу по реальной трещине в соответствующем направлении.

Наиболее надежно, с учетом масштабного фактора, коэффициент шероховатости трещины может быть определен третьим способом [12]. Он требует проведения одного упрощенного испытания блоков на сдвиг в натурных условиях. Испытание может проводиться либо путем наклона блоков, либо "вытягиванием" контрольного блока из скального массива (рис. 5).

В первом случае два блока со сквозной трещиной постепенно наклоняются, пока угол наклона не достигнет некоторого предела $\alpha_{\text{пр}}$, при котором происходит смещение верхнего блока по нижнему. Величина коэффициента шероховатости при этом определяется по формуле

$$K_{\text{ш}} = \frac{\alpha_{\text{пр}} - \Phi_{\text{ост}}}{\lg \left(\frac{R_{\text{ct}}}{\sigma} \right)}. \quad (7)$$

При испытаниях на вытягивание (которые являются предпочтительными для трещин с высокими $K_{\text{ш}}$) верхний блок стаскивается с помощью специального приспособления вдоль испытываемой трещины. Подготовка блоков к такому испытанию требует их строчечного обуривания. Величина $K_{\text{ш}}$ определяется по формуле

$$K_{\text{ш}} = \frac{\arctg \frac{T_1 + T_2}{\sigma} - \Phi_{\text{ост}}}{\lg \left(\frac{R_{\text{ct}} \cdot A}{N} \right)}, \quad (8)$$

где T_1 – компонента сдвигающей силы, образуемая собственным весом верхнего блока (см. рис. 5); N – нормальная составляющая веса блока; A – площадь трещины; дополн-

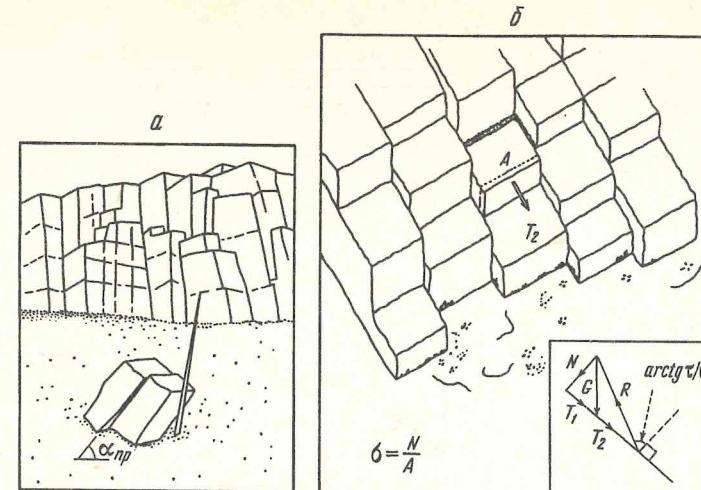


Рис. 5. Упрощенные опыты на сдвиг в натурных условиях: а – метод наклона блоков, б – метод "вытягивания" контрольного блока

нительное сдвигающее усилие T_2 может создаваться также плоскими гидравлическими домкратами и прикладываться к задней грани верхнего скального блока.

Для определения величины прочности на сжатие стенок трещин R_{ct} рекомендуются испытания с помощью молотка Шмидта (может быть использован также более известный в России молоток Кашкарова). Эти испытания позволяют также оценить прочность образующейся в ряде случаев тонкой каймы выветривания вдоль стенок трещины, оказывающей значительное влияние на ее сдвиговую прочность.

Для каждой поверхности трещин необходимо провести статистически представительное число испытаний (не менее 50). Испытания проводятся сериями, по 10 испытаний в серии. Каждая серия испытаний выполняется на участке трещины размером ориентировочно 10×10 см. Любое новое испытание должно проводиться на новом месте.

Величина прочности стенки трещины определяется величиной отскока пружинного снаряда молотка, устанавливаемого по специальной шкале. В соответствии с рекомендациями Международного общества по механике скальных пород [4], в каждой серии испытаний 5 из 10 показаний с более низкими отскоками не учитываются и вычисляется среднее значение из 5 показаний с более высокими отскоками. Аналогично обрабатываются все серии испытаний, в результате чего для трещины получаются характеризующее ее среднемаксимальное значение высоты отскока. Прочность на сжатие стенок трещины R_{ct} находится по имеющимся зависимостям этой величины от высоты отскока молотка.

Опыт работы авторов с молотком Шмидта показывает высокую эффективность его использования для оценки прочностных свойств стенок трещин и скальных пород в естественном залегании.

Остаточный угол трения $\Phi_{\text{ост}}$ рекомендуется находить по формуле [11]

$$\Phi_{\text{ост}} = \varphi - 20^\circ + 20^\circ \frac{r_b}{r}, \quad (9)$$

где r_b и r – соответственно величины отскока ударника молотка Шмидта от влажной выветрелой поверхности стенки трещины и свежей (невыветрелой) поверхности, φ – угол трения породы.

Углы трения φ для большинства типов скальных пород находятся в пределах от 25 до 40° . Меньшие значения наблюдаются у скальных пород со значительным содержа-

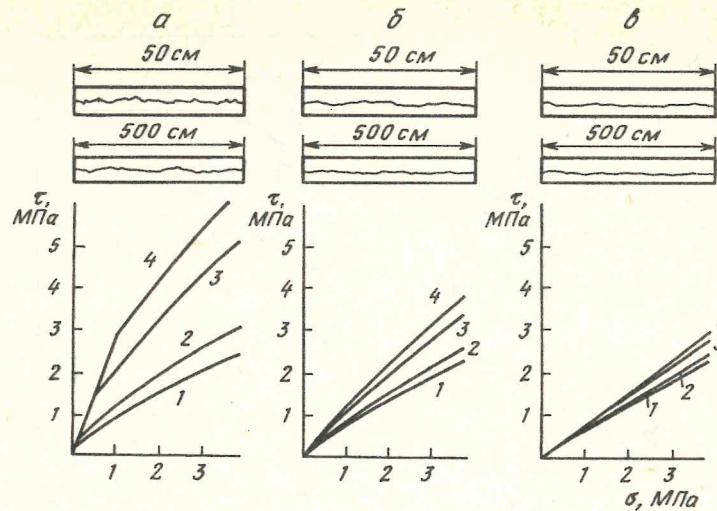


Рис. 6. Зависимости прочности на сдвиг от величины нормального напряжения при коэффициенте шероховатости трещин: а - $K_{ш} = 20$, б - $K_{ш} = 10$, в - $K_{ш} = 5$; значения R_{ct} : 1 - 1, 2 - 10, 3 - 50, 4 - 100 МПа

нием слюды (например, сланцы и филлиты), а также у пород с большим содержанием глинистых минералов.

В тех случаях, когда стенки трещин невыветрелые, оба угла трения совпадают: $\varphi = \varphi_{ост}$.

Зависимости прочности на сдвиг по трещине τ от нормального напряжения σ , полученные по формуле (1) при трех разных значениях $K_{ш}$ (20, 10 и 5) и при различных величинах R_{ct} , приведены на рис. 6. Для простоты во всех случаях остаточный угол трения $\varphi_{ост}$ был принят одинаковым и равным 30°. Из рисунка видно, что степень шероховатости трещины оказывает существенное влияние на ее сдвиговую прочность. При больших величинах $K_{ш}$ наблюдается значительный разброс τ в зависимости от прочности породы, слагающей стенки трещины. Для плоских трещин прочность на сдвиг в первую очередь зависит от типа породы и свойственной ей микротрещиноватости поверхности.

Зависимость $\tau - \sigma$, как следует из рассмотрения формулы (1) и из графиков на рис. 6, носит нелинейный характер. В тех случаях, когда при расчетах устойчивости скальных массивов возникают сложности с использованием нелинейной функции прочности на сдвиг по трещинам, она может быть аппроксимирована обычной линейной кулона-максвелловской зависимостью в заданном диапазоне нормальных напряжений σ .

В ходе подготовки настоящей статьи авторами была выполнена дополнительная экспериментальная проверка зависимости (1), осуществленная как в лабораторных, так и в натурных условиях¹.

Необходимая для получения теоретических кривых исходная информация определялась на основе обработки профилограмм трещин и результатов испытаний прочностных свойств пород.

Выполненный сопоставительный анализ (рис. 7 и 8) свидетельствует о хорошей сходимости экспериментальных и теоретических результатов и подтверждает правомерность использования рекомендуемого метода.

¹ Лабораторные опыты проведены в 1995 г. инженером Н.П. Киселевым на сдвиговой установке, сконструированной в отделе скальных оснований "Гидропроекта", натурные испытания выполнены сотрудниками "Гидропроекта" в 1987 г. (Крапивинский г/у) и в 1993 г. (ГЭС Карун-1 в Иране).

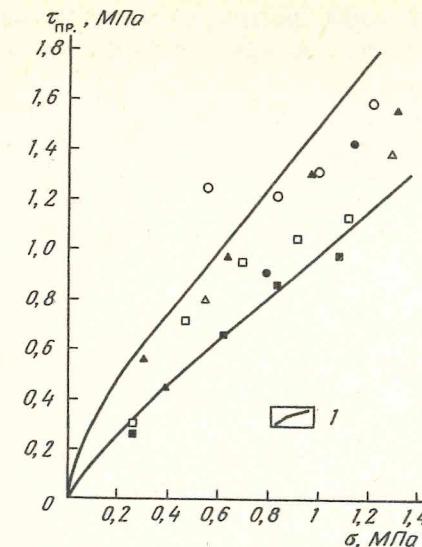


Рис. 7

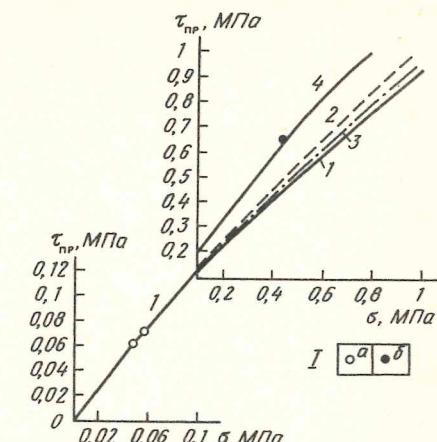


Рис. 8

Рис. 7. Сопоставление результатов экспериментальных и теоретических исследований прочности на сдвиг по трещинам в гнейсах и гранитах основания ГЭС Мерове (Судан) (одинаковые значки относятся к одному и тому же образцу): I – теоретические границы изменений сопротивления сдвигу

Рис. 8. Сопоставление результатов расчетов и полевых определений прочности на сдвиг по трещинам в известняках г/у Карун-1 (Иран) (кривые 1–3) и в диабазовых порфиритах Крапивинского г/у (Россия) (кривая 4): I – экспериментальные результаты: а – на ГЭС Карун-1, б – на Крапивинском г/у; I – расчеты по результатам упрощенных полевых сдвигов ("вытягивание" скальных блоков) ($K_{ш} = 7,8$, $\varphi_{ост} = 25^\circ$, $R_{ct} = 183$ МПа); 2 – по измерениям профилей трещин ($K_{ш} = 9$, $\varphi_{ост} = 25^\circ$, $R_{ct} = 183$ МПа); 3 – с использованием стандартных профилей ($K_{ш} = 8$, $\varphi_{ост} = 25^\circ$, $R_{ct} = 183$ МПа); 4 – по измерениям профилей трещины ($K_{ш} = 15$, $R_{ct} = 56$ МПа)

Наряду с вышеописанным основным методом, для большей надежности получаемых результатов может быть применен еще один весьма простой экспресс-метод оценки прочности на сдвиг по сомкнутым трещинам, предложенный и экспериментально апробированный японскими специалистами [13]. Основная расчетная формула следующая:

$$\tau = \sigma \operatorname{tg}(\varphi_{ост} + \alpha_m), \quad (10)$$

где α_m – среднемаксимальное значение угла наклона выступов на поверхности трещины, получаемое в результате статистической обработки ее профиля при заданном интервале разбиения последнего (учитываются только положительные углы наклона выступов, т.е. по направлению сдвига); значение α_m находится по формуле

$$\alpha_m = \alpha_{cp} + 2\sigma_\alpha^*, \quad (11)$$

где α_{cp} и σ_α^* – соответственно среднее значение угла наклона выступов и его среднее квадратическое отклонение (чтобы не путать последнюю величину с нормальным напряжением, поставлена звездочка).

Особенность метода – дифференцированный подход к размеру интервалов (элементарных участков) Δx , на которые разбивается рассматриваемый профиль трещины. Величина Δx зависит от уровня действующего нормального напряжения и определяется по формуле

$$\Delta x = \frac{\sigma}{\sigma_n} L, \quad (12)$$

где σ_n – так называемое переходное напряжение, при превышении которого максимальная и остаточная прочности на сдвиг по породе, слагающей стенки трещины, совпадают; L – общая длина профиля трещины.

Предполагается, что остаточные сдвиговые прочности породы в стенках трещины и самой трещины характеризуются одним и тем же углом трения φ_{ost} ; что касается величины переходного напряжения σ_n , то некоторые авторы считают ее равной прочности стенок трещины на сжатие (R_{ct}), другие полагают, что она существенно меньше ($0,2\text{--}0,4R_{ct}$). В экспериментах японских авторов на гипсовых моделях было получено значение $\sigma_n = \frac{2}{3}R_{ct}$. Принимая данное значение в качестве расчетного, получаем

$$\Delta x = \frac{1,5\sigma}{R_{ct}} L. \quad (13)$$

Величину Δx авторы метода называют критической длиной выступов трещины, оказывающих основное сопротивление сдвигу при заданном нормальном напряжении σ .

Данный метод учитывает возможную анизотропию прочности на сдвиг (разные углы наклона выступов в разных направлениях), а также масштабный эффект (естественно, при достаточно протяженном профиле трещины).

3.2. Трещины с заполнителем

Наличие в трещине заполнителя оказывает существенное влияние на величину прочности на сдвиг. В абсолютном большинстве случаев прочность трещины с заполнителем становится меньше, и только при наличии минерализованного жильного заполнителя, такого, как кальцит, прочность на сдвиг по трещине может увеличиваться. Ниже рассматривается только слабый заполнитель (глинистый, супесчано-суглинистый и др.), снижающий сдвиговую прочность трещин.

Относительно немногочисленные экспериментальные исследования трещин с заполнителем показывают:

прочность на сдвиг по трещине с заполнителем может быть либо выше, либо равной прочности самого заполнителя²;

прочность на сдвиг и жесткость трещины с заполнителем уменьшаются с увеличением мощности заполнителя; влияние последней повышается для трещин с большим коэффициентом шероховатости;

прочность на сдвиг по трещине с заполнителем тем ближе к прочности заполнителя, чем более плоской является скальная поверхность трещины;

поверхность сдвига в шероховатой трещине в большинстве случаев частично проходит по контакту скальной стенка – заполнитель, частично по заполнителю (с увеличением мощности заполнителя относительная площадь сдвига по заполнителю становится больше); если трещина плоская, то поверхность сдвига часто совпадает с одним из контактов скальной стенки – заполнитель,

на сдвиговую прочность трещины с заполнителем существенное влияние оказывает влажность, как правило, снижающая ее показатели.

Анализ результатов выполненных к настоящему времени исследований, описанных в работах [17, 19 и др.], позволяет рекомендовать следующую эмпирическую зависимость для определения прочности на сдвиг по трещине с заполнителем:

$$\tau = \tau_3 + (\tau_{63} - \tau_3) \left(1 - \frac{km}{h} \right)^4, \quad (14)$$

² В некоторых экспериментальных исследованиях полученная прочность на сдвиг была меньше прочности заполнителя, что объяснялось авторами развитием трения качения на контакте скальной стенки – заполнитель в процессе сдвига, принудительной ориентацией частиц в приконтактном слое и иными причинами. Другими экспериментаторами такие результаты и соответствующие объяснения признавались ошибочными.

где τ_{63} и τ_3 – соответственно прочность на сдвиг по трещине без заполнителя и непосредственно по заполнителю, m – средняя мощность заполнителя, h – средняя высота выступов на поверхности трещины, k – коэффициент, принимаемый в пределах от 0,3 до 1 в зависимости от типа заполнителя и уровня нормальных напряжений σ (в опытах величина σ менялась от 0,05 до 1 МПа).

Из формулы (14) следует, что величина сдвиговой прочности быстро снижается в диапазоне m/h от 0 до 0,5, затем уменьшается более плавно и принимает значение, равное прочности заполнителя, при мощности последнего, в 1–3,3 раза превышающей среднюю высоту выступов на поверхности трещины. Указанная зависимость справедлива при $km/h \leq 1$, в противном случае следует принимать $\tau = \tau_3$.

Для глинистых заполнителей коэффициент k рекомендуется принимать ближе к верхнему из указанных пределов, для несвязных заполнителей – ближе к нижнему. Для одних и тех же трещин с увеличением σ величина коэффициента k снижается (в пределах указанных значений).

Прочность на сдвиг по трещине без заполнителя τ_{63} может быть определена по изложенной выше методике.

Если рассматриваемая трещина обводнена, то в уравнение (14) следует подставлять значение прочности на сдвиг по заполнителю τ_3 , определенное в условиях водонасыщения.

4. ВЛИЯНИЕ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА

До настоящего времени отсутствуют общепринятые представления о влиянии масштабного фактора на сдвиговую прочность трещин. К сожалению, целенаправленных и сколько-нибудь обширных исследований, выполненных одновременно в натуральных и лабораторных условиях, на сегодняшний день явно недостаточно. Отсутствие необходимого по объему экспериментального материала объясняется большой стоимостью и трудоемкостью подобных исследований.

Рассмотрение большинства выполненных сопоставительных опытов по трещинам без заполнителя не позволяет сделать однозначных выводов. Одни исследователи не обнаруживали масштабного эффекта, в то время как другие отмечали как положительный, так и отрицательный масштабный эффект. При этом на результаты опытов зачастую оказывали влияние факторы, носящие случайный характер и искажающие реальное значение масштаба испытаний.

Наиболее систематические и тщательно выполненные исследования по выявлению масштабного фактора были проведены Бандисом и др. [12] на моделях естественных трещин размером от 6 до 40 см (что в пересчете на натуру составляло от 1,5 до 12 м). Моделировались 11 естественных трещин без заполнителя с различной степенью шероховатости. Образцы трещин брались из естественных обнажений крупнозернистого песчаника, известняка, алеврита и слабометаморфизованного тонкозернистого песчаника. По своему происхождению это были трещины отрыва, скальвания и напластования. Результаты выполненных исследований показали, что с увеличением длины трещин их прочность на сдвиг становится меньше. На рис. 9 представлены типичные зависимости $\tau - \sigma$, полученные на моделях различных размеров, а также в схематичном виде приведены три составляющие сопротивления сдвигу по сомкнутым трещинам, две из которых, по мнению авторов экспериментов, подвержены масштабному эффекту.

Отметим, что уменьшение прочности на сдвиг с увеличением размера трещин может быть объяснено эффектом запаздывания в "работе" выступов трещин. Скальные выступы на поверхности трещин, несущие при заданном нормальном напряжении основную нагрузку, в процессе сдвигового смещения вступают в "работу" и достигают максимальной прочности не одновременно, а с некоторой, пусть очень незначительной, сдвигкой по времени и по величине смещения. Чем протяженнее трещина, тем выше уровень сдвиговой нагрузки, прикладываемой к выступам, находящимся в контакте, и

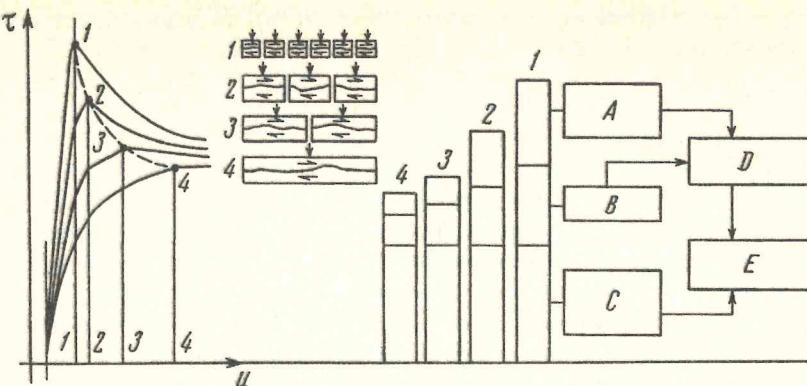


Рис. 9. Результаты экспериментальных исследований Бандиса и др. [12] по выявлению зависимости прочности на сдвиг по трещинам без заполнителя от их размера: A, B, C – составляющие прочности на сдвиг, обусловленные соответственно разрушением или срезом неровностей (выступов) трещин, их дилатансией при сдвиге и силой трения (остаточного) по поверхности трещин; D = A + B – компонента прочности на сдвиг, обусловленная шероховатостью трещины; E = A + B + C – суммарное сопротивление сдвигу по трещине; 1–4 – номера моделей

тем относительно проще преодолеть их суммарное сопротивление сдвигу, учитывая упомянутый выше эффект.

В результате анализа экспериментальных данных, полученных Бандисом и некоторыми другими авторами, а также учитывая опыт "Гидропроекта" и ряда других организаций по определению прочности на сдвиг по трещинам на многочисленных отечественных и зарубежных объектах, можно сделать нижеследующие выводы.

а) Масштабному эффекту подвержены в первую очередь шероховатые трещины без заполнителя. Для таких трещин наблюдается уменьшение прочности на сдвиг с увеличением их размеров, которое носит затухающий характер.

б) Для сомкнутых трещин с высоким коэффициентом шероховатости уменьшение прочности на сдвиг при переходе от лабораторного масштаба к масштабу натурного блока может составить 30–40% и даже более. Влияние масштабного фактора уменьшается для трещин со средними значениями коэффициента шероховатости и становится пренебрежимо малым для трещин с плоской и гладкой поверхностью.

в) В первом приближении минимальная длина трещины, свободная от влияния масштабного фактора, может приниматься равной размеру натурного скального блока, определяемому расстоянием между трещинами основной системы в массиве. В тех случаях, когда прочность на сдвиг определяется крупной волнистостью (см. формулу (2)), в качестве минимальной длины следует рассматривать длину волны трещины.

г) Получаемый в результате опытов на наклон и вытягивание натурных блоков коэффициент шероховатости трещин $K_{ш}$ можно считать характеристикой, не зависящей от масштабного фактора.

Если проведение подобных опытов выполнить не удалось, то может быть рекомендована экстраполяция лабораторных величин $K_{ш}$ на более протяженные профили трещин с использованием следующей простой формулы:

$$\frac{(K_{ш})_m}{(K_{ш})_o} = \frac{(\alpha_m)_{cp}}{(\alpha_o)_{cp}}, \quad (15)$$

где $(K_{ш})_m$ и $(K_{ш})_o$ – коэффициенты шероховатости трещин, соответствующие разному масштабному уровню (m – массив, o – образец), $(\alpha_m)_{cp}$ и $(\alpha_o)_{cp}$ – средние углы наклона неровностей, получаемые при обработке профилограмм трещин соответственно в натуре и образце с шагом (интервалом) Δx , равным 2% от длины профилей.

д) Для трещин с заполнителем роль масштабного фактора снижается. В первом приближении можно считать, что масштабный фактор отсутствует у трещин, мощность заполнителя в которых превышает среднюю высоту скальных выступов на поверхности трещин.

е) На величину масштабного фактора оказывает влияние уровень нормального напряжения σ , действующего на поверхности трещины; с увеличением σ масштабный фактор играет менее заметную роль.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определение прочности на сдвиг по скальным трещинам в отечественной и зарубежной практике все чаще осуществляется без проведения классических натурных опытов, на основе использования аналитических методов расчета. В большинстве этих методов в рассмотрение вводится модель трещины, отражающая ее морфологические и другие характеристики, необходимые для аналитического выражения и выполнения расчетов. Анализ существующих методов, результатов расчетов и экспериментальных проверок показывает, что для оценки прочности на сдвиг по трещинам необходим комплексный подход с одновременным учетом различных факторов: шероховатости (геометрии) трещин, прочности породы в стенках трещин, мощности и типа заполнителя, масштабного фактора и некоторых других.

В отношении трещин без заполнителя наиболее апробированным экспериментально и учитывающим основные влияющие факторы является метод оценки прочности на сдвиг, разработанный норвежским специалистом Н. Бартоном. Этот метод в последние годы наиболее широко используется зарубежными специалистами в области гидротехнического строительства и может быть рекомендован в качестве основного из экспресс-методов для отечественной практики. Авторами осуществлена дополнительная проверка данного метода, проведенная применительно к условиям натурных и лабораторных испытаний и подтвердившая обоснованность его использования. Оценку сдвиговой прочности трещин с заполнителем целесообразно выполнять с использованием эмпирической зависимости, полученной авторами в результате анализа выполненных к настоящему времени экспериментальных исследований.

Для проведения исследований прочности на сдвиг на фрагментах естественных трещин может быть рекомендована лабораторная установка, разработанная и изготовленная в АО "Институт Гидропроект".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Газиев Э.Г. Устойчивость скальных массивов и методы их закрепления. М.: Стройиздат, 1977.
- Гольдштейн М.Н., Гусев Б.В., Пироговский Н.Н. и др. Исследование механических свойств трещиноватой скалы // Докл. к 1-му Междунар. конгр. по механике скальных пород. М.: НИИОСП, 1967.
- Зеленский Б.Д. Основные направления исследований деформаций скальных пород как оснований бетонных плотин // Проблемы инженерной геологии в строительстве. М.: Госстройиздат, 1961.
- Международное общество по механике скальных пород. Методические рекомендации по методам исследования скальных пород и массивов. Сб. 2 / Пер. с англ. М.: Гидропроект, 1984.
- Могилевская С.Е. Экспресс-метод определения параметров сопротивления сдвигу по трещинам в скальных породах // Тр. Гидропроекта. Вып. 96. М., 1983.
- Могилевская С.Е., Куонджич Б. Морфология поверхности трещин в скальных породах. Л.: ВНИИГ, 1989.
- Сапегин Д.Д., Ширяев Р.А. Новая методика исследований сопротивляемости сдвигу скальных пород по трещинам с учетом их шероховатости // Матер. конференций и совещаний по гидротехнике. Л.: ВНИИГ, 1984.

8. Фишиман Ю.А. Сопротивление сдвигу по шероховатой поверхности трещин // Тез. докл. и сообщ. VIII Конф. изыскателей института "Гидропроект". М., 1984.
9. Ухов С.Б. Скальные основания гидротехнических сооружений. М.: Энергия, 1975.
10. Barton N., Choubey V. The shear strength of rock joints in theory and practice // Rock Mechan. 1977. V. 10. P. 1–54.
11. Barton N., Bandis S. Review of predictive capabilities of IRS-ICS model in engineering practice // Proc. Internat. Sympos. on Rock Joints. Balkema, 1990. P. 603–610.
12. Bandis S., Lumsden A.C., Barton N. Experimental studies of scale effects on the shear behaviour of rock joints // Internat. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr. 1981. V. 18. P. 1–21.
13. Kimura T., Esaki T. A new model for the shear strength of rock joints with irregular surfaces // Proc. Internat. Symp. on Mechanics of Jointed and Faulted Rock. Balkema, 1995. P. 133–138.
14. Ladanyi B., Archambault G. Simulation of shear behaviour of a jointed rock mass. Rock Mechanics – Theory and Practice // 11 U.S. Sympos. Rock Mech. Berkeley, California, 1969. P. 105–125.
15. Leichnitz W. Mechanical properties of rock joints // Internat. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr. 1985. V. 22. P. 313–321.
16. Manojlovic M., Kujundzic B., Colic D. Shear strength at discontinuities of rock masses as a function of their basic properties // Proc. of the 4th Internat. Congr. of the ISRM. Montreux, 1979. P. 725–730.
17. Papaliangas T., Lumsden A.C., Manolopoulou S., Hencher S.R. Shear strength of modelled filled rock joints // Proc. Internat. Symp. on Rock Joints. Balkema, 1990. P. 275–282.
18. Patton F.D. Multiple modes of shear failure in rock // Proc. of the 1st Internat. Congr. of the ISRM. Lisbon, 1966. P. 509–513.
19. Phien-wei N., Shrestha U.B., Rantucci G. Effect of infill thickness on shear behaviour of rock joints // Proc. Internat. Symp. on Rock Joints. Balkema, 1990. P. 289–294.
20. Tse R., Gruden D.M. Estimating joint roughness coefficients // Internat. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr. 1979. V. 16. P. 303–307.

Гидропроект

Поступила в редакцию
10.IV.1996

Г Е О Э К О Л О Г И Я

Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология

5 • 1997

УДК 624.139

© 1997 г. М.М. ДУБИНА, Р.Я. ДЕМЧЕНКО

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЗДАНИЙ С ПРОВЕТРИВАЕМЫМ ПОДПОЛЬЕМ В КРИОЛИТОЗОНЕ

Путем постановки и решения сопряженной задачи теплообмена системы здание – проветриваемое подполье – основание показано отличие формирования теплового режима мерзлых грунтов основания в сравнении с известными методами расчета.

Наблюдаемая в настоящее время тенденция потепления климата ставит перед строителями ряд задач, связанных с прогнозом этого явления на уже возведенные и планируемые к постройке сооружения. Потепление климата отразится на среднегодовых температурах грунтов основания, что приведет к изменению их физико-механических характеристик в сторону уменьшения несущей способности. В связи с этим актуален прогноз температурного режима грунтов под зданиями и сооружениями вообще и для случаев их возведения с проветриваемыми подпольями в частности. В данной работе рассмотрены варианты расчета температурного режима грунта под зданием при различных способах расчета температуры воздуха в проветриваемом подполье $t_{\text{вп}}$. Поскольку $t_{\text{вп}}$ представляет собой функцию температуры воздуха вне сооружения $t_{\text{вн}}$, очевидна важность правильного расчета этого параметра, являющегося передаточной функцией влияния климатических изменений $t_{\text{вн}}$ на несущую способность грунтовых оснований под зданием с проветриваемым подпольем.

Температура воздуха и температура поверхности грунта в подполье, определяющие тепловой режим основания здания, воздвигнутого на многолетнемерзлых грунтах, зависят, в свою очередь, от изменяющихся со временем температуры наружного воздуха, температур в самом основании и здании, свойств грунта, полового перекрытия, размеров подполья, условий вентиляции и поэтому могут быть определены лишь при совместном решении уравнений теплообмена для системы здание – фундамент – основание.

Как правило, для инженерных расчетов используются среднегодовая, среднезимняя и среднелетняя температуры воздуха в подполье ($t_{\text{вп}}^r, t_{\text{вп}}^3, t_{\text{вп}}^l$), вычисленные по приближенным формулам, полученным при многих упрощающих предпосылках с введением некоторых обобщающих коэффициентов. Так, СНиП рекомендует для расчета $t_{\text{вп}}$ следующую формулу

$$t_{\text{вп}} = (1 - n) \cdot t_{\text{зд}} + n \cdot t_{\text{вн}}, \quad (1)$$

где $n = 0,75$ по СНиП II.A-7-71; $n = 0,9$ по СНиП II.A-7-79; $t_{\text{зд}}$ – температура в здании; $t_{\text{вн}}$ – температура наружного воздуха.

Справочник [4] дает следующие рекомендации для определения $t_{\text{вп}}$:

а) при сохранении в основании здания среднегодовой температуры грунта полагают

$$t_{\text{вп}} = t_0, \quad (2)$$

где t_0 – температура грунта на глубине нулевых годовых амплитуд;

б) для пластично-мерзлых грунтов принимают

$$t_{\text{вп}} = 4 t_0, \text{ если } t_0 > 5^{\circ}\text{C},$$

$$t_{\text{вп}} = 3 t_0, \text{ если } t_0 < -0,5^{\circ}\text{C};$$

в) при низких температурах вечномерзлых грунтов считают

$$t_{\text{вп}} = k_t \cdot t_0,$$

где k_t – коэффициент теплового влияния здания на температуру грунта.

Сравним значения $t_{\text{вп}}$, вычисленные по формулам (1) и (2) для условий г. Якутска при $t_{\text{зд}} = 15^{\circ}\text{C}$. По формуле (1) получаем, что $t_{\text{вп}} = -4,1^{\circ}\text{C}$ при $n = 0,75$ и $t_{\text{вп}} = -7,9^{\circ}\text{C}$ при $n = 0,9$, а по формуле (2) $t_{\text{вп}} = -2,1^{\circ}\text{C}$. Столь большое расхождение значений $t_{\text{вп}}$, вычисленных по разным рекомендациям, и тот факт, что даже при одном и том же показателе $t_{\text{вп}}$ летние и зимние температуры подполья могут существенно различаться, говорят о том, что при расчетах температурного поля основания следует оперировать переменной во времени температурой воздуха в подполье.

В тепловых расчетах системы зданий – фундамент – основание применить практически строгое математическое описание теплового режима в подполье с учетом коэффициентов теплоотдачи от поверхности грунта, нижней поверхности полового перекрытия и цоколя невозможно ввиду отсутствия фактических данных по коэффициентам теплоотдачи, переменных во времени в каждом конкретном случае. Будем исходить из следующих выводов, сделанных Г.В. Порхаевым [3] на основе предшествующих исследований [2] и работы [1]: "Наблюдения показывают, что температуры нижней поверхности перекрытия, поверхности грунта и воздуха в подполье близки между собой (Велли, Маков, 1966). Поэтому для вентилируемых подпольй лучистый теплообмен между поверхностями грунта и перекрытия можно не учитывать. Температуру же поверхности грунта можно принять равной температуре воздуха в подполье, так как при промерзании и оттаивании грунта учет коэффициента теплоотдачи от поверхности грунта к воздуху практически не оказывается на результатах расчетов".

Применение ЭВМ позволяет рассматривать совокупную систему здание – фундамент – основание и, наряду с динамикой температурного поля в основании здания, вычислять и динамику температуры подполья, учитывая основные определяющие ее факторы. Для этого к известной системе двумерных дифференциальных уравнений теплопроводности, описывающих изменение температурного поля в основании здания с учетом фазовых превращений грунта, добавляется уравнение теплового баланса в подполье вида

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0, \quad (3)$$

где Q_1 – тепло, поступающее в подполье здания через половое перекрытие; Q_2 – тепло, поступающее через цокольное перекрытие; Q_3 – тепло, удаляемое в основание; Q_4 – тепло, удаляемое посредством вентиляционной системы (если оно имеется).

Для слагаемых в (3) имеем выражения

$$Q_1 = \frac{F_{\text{п}}}{R_{\text{п}}} (t_{\text{зд}} - t_{\text{вп}}) \Delta t,$$

$$Q_2 = \frac{F_{\text{ц}}}{R_{\text{ц}}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{вп}}) \Delta t,$$

$$Q_3 = F_{\text{п}} \int_{\tau}^{\tau + \Delta t} \lambda_m \left(\frac{\partial t}{\partial z} \right)_{z=0} d\tau,$$

$$Q_4 = 3600 C (t_{\text{вн}} - t_{\text{вп}}) L \Delta t,$$

где Δt – расчетный промежуток времени, ч; $C = 0,24 \text{ ккал}/\text{кг}^{\circ}\text{C}$ – теплоемкость воздуха; $L(\tau)$ – расход воздуха на вентиляцию, кг/с; $t_{\text{вн}}$ – температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$; λ_m – коэффициент теплопроводности грунта в основании здания, $\text{ккал}/(\text{кг} \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$; $F_{\text{п}}$ – площадь здания в плане, м^2 ; $F_{\text{ц}}$ – общая площадь продухов для подполья с продухами или произведение периметра здания на расстояние от поверхности грунта до низа растворника, м^2 ; $t(x, z, \tau)$ – температура грунта в точке (x, z) основания в момент времени τ , $^{\circ}\text{C}$; z, x – соответственно вертикальная и горизонтальная

координаты, м; $\lambda_m \left(\frac{\partial t}{\partial z} \right)_{z=0}$ – тепловой поток на поверхности $z = 0$ основания; $t_{\text{вн}}$, $t_{\text{зд}}$ и $t_{\text{вп}}$ – должны оставаться постоянными в течение времени Δt .

Присутствие теплового потока $\lambda_m \left(\frac{\partial t}{\partial z} \right)_{z=0}$ на поверхности грунта в слагаемом Q_3

уравнении (3) позволяет в каждый расчетный момент времени τ учесть взаимное влияние температур в подполье и основании здания.

Последовательность совместного решения уравнений для системы здание – фундамент – основание следующая.

1. Любым из численных методов решения системы дифференциальных уравнений теплопроводности с учетом фазовых переходов находим распределение температур $t^s(x, z, \tau)$ в основании здания в момент времени τ . Здесь для экономичности изложения не будем описывать решение системы дифференциальных уравнений для основания.

2. Зная $t^s(x, z, \tau)$ определяем поток $\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial z} \right)^s$, где s – номер итерации.

3. Подставляя $\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial z} \right)^s$ в (3), вычисляем $t_{\text{вп}}^s(\tau)$.

4. Зная $t_{\text{вп}}^s(\tau)$, вычисляем согласно п. 1 распределение $t^{s+1}(x, z, \tau)$ температур в основании и проверяем условие

$$|t^s(x, z, \tau) - t^{s+1}(x, z, \tau)| < E, \quad (4)$$

где E – заданная точность вычисления температур. Если условие (4) не выполнено, то нужно определить температуру $t^{s+2}(x, z, \tau)$ на следующем шаге итерации ($s + 2$) и сравнить $t^{s+1}(x, z, \tau)$ и $t^{s+2}(x, z, \tau)$. Если же условие (4) выполнено, то $t^{s+1}(x, z, \tau)$ и есть искомое распределение температур $t(x, z, \tau)$ в момент времени τ в основании здания, $t_{\text{вп}}^s(\tau)$ – температура в подполье в момент τ .

Далее $t_{\text{вп}}^s(\tau)$ и $t^{s+1}(x, z, \tau)$ служат начальным условием для нахождения $t_{\text{вп}}(\tau + \Delta t)$ и $t(x, z, \tau + \Delta t)$ в следующий момент времени $(\tau + \Delta t)$.

Слагаемое Q_3 в уравнении (3), содержащее тепловой поток на поверхности грунта в основании здания, позволяет учесть взаимное влияние здания и грунта. Для определения характера и степени воздействия Q_3 на тепловой режим основания были проведены расчеты на ЭВМ.

В качестве примера взято здание размером 30×40 м в плане, высотой подполья 1 м и температурой в помещении 15°C . Термическое сопротивление пола следующее: $R_{\text{п}} = 3,0 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{ккал}$, $R_{\text{ц}} = 1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{ккал}$, $L = 1 \text{ кг/с}$. В качестве $t_{\text{вн}}(\tau)$ взята среднемесячная температура воздуха в г. Якутске. Сравнены результаты расчетов по двум вариантам.

Рассмотрим вариант 1. Температура грунта в основании здания рассчитывалась при $t_{\text{вп}}$, найденном из (3) при условии $Q_3 = 0$, т.е. когда $t_{\text{вп}}$ зависит от $t_{\text{зд}}$ и $t_{\text{вн}}$, но не зависит от температуры грунта, следовательно, без учета взаимного влияния здания и осно-

Таблица 1

Среднегодовая температура грунта в основании здания

Глубина, м	Среднегодовая температура, °C			Глубина, м	Среднегодовая температура, °C		
	в естественных условиях	в варианте 1	в варианте 2		в естественных условиях	в варианте 1	в варианте 2
0	-3,2	-3,2	-3,1	4	-3,1	-2,9	-2,3
0,4	-3,4	-3,3	-3,1	5	-2,8	-2,7	-2,1
0,8	-3,5	-3,3	-3,2	6	-2,7	-2,5	-2,0
1,2	-3,7	-3,5	-3,0	7	-2,6	-2,4	-1,9
1,6	-3,7	-3,5	-2,9	8	-2,4	-2,2	-1,9
2	-3,5	-3,3	-2,7	9	-2,3	-2,2	-1,8
2,5	-3,4	-3,2	-2,5	10	-2,2	-2,1	-1,8
3	-3,3	-3,0	-2,4	20	-2,1	-2,1	-2,1

Таблица 2

Характеристика теплофизического состояния грунтового основания

Условия и варианты	h_{\max} , м	Максимальная и минимальная температура грунта					
		на поверхности		на глубине 1 м		на глубине 2 м	
		t_{\max} , °C	t_{\min} , °C	t_{\max} , °C	t_{\min} , °C	t_{\max} , °C	t_{\min} , °C
В естественных условиях	1,9	23	-22	8,4	-13,9	-0,2	-9,7
Для варианта 1	1,9	20,3	-26,4	7,5	-16	-0,2	-10,8
Для варианта 2	1,1	8,3	-16	0,6	-8,8	-1	-6

грунт, когда $t_{\text{вп}} = -3,1$, и без учета, когда $t_{\text{вп}} = -3,2^{\circ}\text{C}$) резко различаются амплитуды кривых динамики температур как на поверхности грунта, так и на глубинах до 2 м.

2. В двух случаях существенно различаются величины максимальной глубины протаивания в основании ($h_{\max} = 1,1$ м и $h_{\max} = 1,9$ м).

3. Наблюдается повышение температуры мерзлых грунтов на глубине 10 м с $-2,2^{\circ}\text{C}$ до $-1,8^{\circ}\text{C}$ за три расчетных года.

4. Заметна значительная разница минимальных ($-26,4$ и -16°C) и максимальных (20,3 и $8,3^{\circ}\text{C}$) температур поверхности грунта, а также на глубинах до 2 м в двух случаях.

Таким образом, пренебрежение учетом взаимовлияния здания и основания приводит к завышению амплитуд температурного распределения под зданием, модулей среднегодовых температур в основании здания и максимальной глубины протаивания под зданием.

Далее, замена переменной во времени температуры воздуха в подполье на среднегодовую и пренебрежение учетом взаимного влияния температур воздуха в подполье и грунта в основании здания при инженерных расчетах существенно искажает динамику температурного поля в основании здания. Следовательно, для определения температуры и глубины оттаивания грунта под зданием нужно решать совместную систему уравнений теплообмена, где температура подполья сама является неизвестной функцией времени, температуры окружающего воздуха, основания здания и его внутреннего помещения, а также физических параметров грунта, полового перекрытия, фунда-

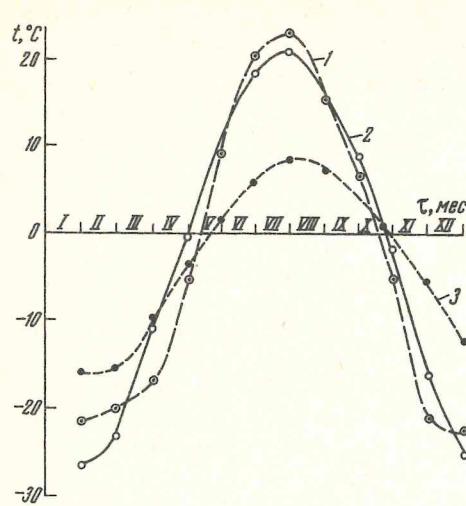


Рис. 1

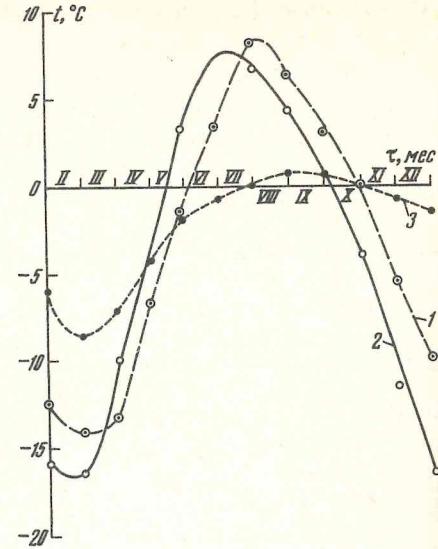


Рис. 2

Рис. 1. Температура поверхности грунта: 1 – в естественных условиях для г. Якутска, под снегом; 2 – в проветриваемом подполье без учета взаимного влияния температур основания и подполья; 3 – в проветриваемом подполье с учетом взаимовлияния температур основания и подполья

Рис. 2. Температура грунта на глубине 1 м: 1 – в естественных условиях для г. Якутска; 2 – в основании здания без учета взаимовлияния температур основания и подполья; 3 – в основании здания при совместном решении системы здание – подполье – основание

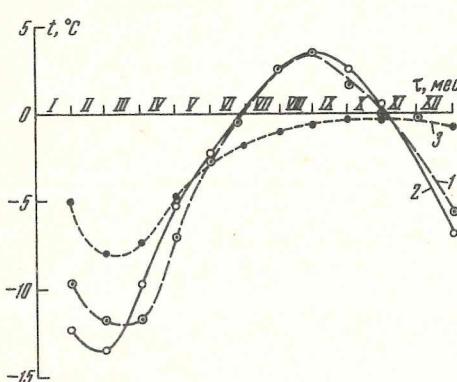


Рис. 3. Температура грунта на глубине 1,4 м (усл. обозначения см. рис. 2)

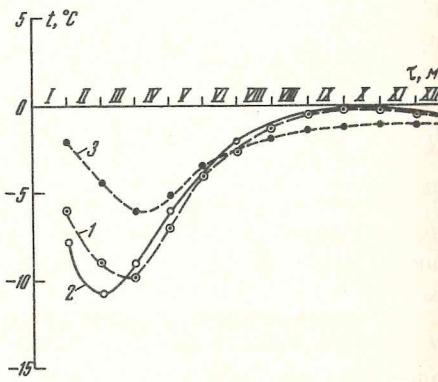


Рис. 4. Температура грунта на глубине 2,0 м (усл. обозначения см. рис. 2)

вания. В варианте 2 температура грунта в основании здания $t(x, z, \tau)$ и в подполье $t_{\text{вп}}(\tau)$ вычисляется с учетом их взаимного влияния, т.е. при $Q_3 \neq 0$.

На рис. 1–4 представлены кривые изменения со временем температуры грунта на глубинах 0 м, 1 м, 1,4 м и 2 м в естественных условиях и под зданием с открытым подпольем с учетом и без учета теплообмена подполья с основанием. В табл. 1, 2 приведены значения максимальной глубины протаивания, максимальной и минимальной температур грунта на различных глубинах.

Проанализировав результаты решения, можно констатировать следующее.

1. При практически одинаковых среднегодовых значениях температуры поверхности грунта в основании здания с подпольем в двух случаях (с учетом теплопотока в

мента. Такой подход физически обоснован и достаточно прост в математической реализации, что может существенно упростить его использование для совместного расчета полей температур и напряженно-деформированного состояния всей системы здание – фундамент – основание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Велли Ю.Я., Маков Ю.М. Исследование температурного режима подпольй зданий в Арктике // Тр. IV Совет. сем. по обмену опытом строительства в суровых климатических условиях. Красноярск, 1966. С. 41–47.
2. Порхаев Г.В. Расчет вентилируемых подпольй зданий, возводимых по методу сохранения вечной мерзлоты // Тр. Ин-та мерзлотоведения АН СССР. Т. XI. М., 1952. С. 17–22.
3. Порхаев Г.В. Тепловое взаимодействие зданий и сооружений с вечномерзлыми грунтами. М.: 1970. 208 с.
4. Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах. Л., 1977. 552 с.

Институт проблем
освоения Севера СО АН

Поступила в редакцию
12.IV.1995

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология

5 • 1997

УДК 624.131

© 1997 г. И.Ю. ШИЩИЦ

О КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ НАРУШЕНИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПРИ ПОДЗЕМНОМ ЗАХОРОНЕНИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Предложен принцип формирования классификации, позволяющей целенаправленно и комплексно оценивать воздействия подземного могильника радиоактивных отходов на окружающую среду.

Строительство и эксплуатация подземных сооружений для захоронения радиоактивных отходов связана с нарушением природных условий и внесением в сложившуюся природно-техногенную систему дополнительных нагрузок. Поэтому при проектировании и создании таких объектов необходимо определить реально существующее состояние природной среды, уровни уже имеющихся техногенных нагрузок и возможность их увеличения за счет строительства нового экологически значимого объекта.

Необходимым требованием оценок техногенных воздействий на окружающую среду от создаваемого и эксплуатируемого подземного могильника радиоактивных отходов является всесторонний учет и определение возможных нарушений компонентов среды – ландшафтно-природных условий, водных источников и их режимов, недр и т.п., мер по их минимизации и восстановлению первоначальных условий.

Оценки технологических воздействий на среду выполняются поэтапно на всех стадиях изысканий, исследований, проектирования, строительства, эксплуатации и консервации объекта. При этом выделяются следующие основные направления работ: 1) формирование банка данных и характеристик окружающей среды (природные условия, флора, фауна, геосфера, поверхностные и подземные воды, социальная и хозяйственная среда и т.п.); 2) нарушения окружающей среды, связанные с созданием подземного могильника; 3) оценка масштабов нагрузок на среду, связанных с воздействием отходов; 4) разработка мероприятий по ограничению нарушений среды и снижению уровня воздействий отходов и их последствий до медицински приемлемых уровней.

Выполнение комплексных оценок воздействия захораниваемых отходов на природную среду будет зависеть от полноты учета всех факторов, для чего методологически необходимо иметь подробную классификацию таких воздействий. В результате многолетних исследований в области подземного захоронения отверженных радиоактивных отходов автором была разработана подробная классификация нарушений природной среды и техногенных воздействий, принципиальная схема которой приведена в таблице. Особенностью этой классификации является: а) четкое выделение стадий строительства и эксплуатации могильника; б) определение характера технических нарушений среды; в) выделение объектов воздействий (ландшафт, флора, фауна, атмосфера, наземные и подземные водные источники, недра); г) установление негативных результатов воздействий на все элементы природной среды; д) пути частичного или полного устранения негативных результатов воздействий.

Формирование такой классификации позволяет перейти от узкотехнических подходов в определении конструктивных параметров подземных хранилищ и могильников к

Принципиальная схема классификации техногенных воздействий и нарушений природной среды при подземном захоронении радиоактивных отходов

Стадия строительства и эксплуатации подземного могильника	Факторы воздействия	Негативный результат	Методы устранения нарушений
Геологоразведочные работы	Нарушение природных условий на месте проведения работ, загрязнение территории	Нарушение почвенного слоя, изменение рельефа, режима природных водных источников, уничтожение растительности	После окончания геологоразведочных работ полная рекультивация территорий
	Бурение геологоразведочных скважин	Нарушение гидрогеологического равновесия, загрязнение подземных вод	Применение технологических средств и методов по изоляции ствола скважины и полная герметизация скважины после окончания работ
Строительство подземного могильника	Строительство наземного технологического комплекса	Нарушение ландшафта, почвенно-гого слоя, режима водных источников и подземных вод, уничтожение растительности, создание источников (объектов) промышленного загрязнения окружающей среды	Минимизация нарушений. Выбор для площадки строительства экологически малозначимых территорий. Соблюдение высокой санитарной дисциплины при ведении работ. Локализация (изоляция) объектов вредных воздействий. Максимально возможное восстановление и улучшение первоначального состояния среды
Заполнение подземного могильника отходами и его консервация	Выполнение горностроительных работ	Нарушение напряженно-деформированного состояния природного массива пород Нарушение гидрогеологического режима подземных вод Дополнительное загрязнение площадки отвалами пород и откачиваемыми подземными водами	Выбор технических решений, минимально влияющих на изменение напряженно-деформированного состояния и гидрогеологических условий в недрах, сдвигов толщ породы. Использование изолирующих систем (крепей, завес), щадящих буровзрывных работ
	Техногенное воздействие отходов на массив вмещающих пород	Нарушение герметичности массива вследствие развития трещиноватости, вызванной развитием термо-деформированных пород с водоносными горизонтами	Выбор схем размещения отходов с минимально оптимальными параметрами развития термодеформационных процессов. Выбор оптимального сочетания состава отходов, подземных вод и типов пород, приводящих к максимально возможному образованию геохимических барьеров. Использование эффективных инженерных барьеров. Строгое соблюдение технологических приемов и высокого качества работ
Радиационное воздействие отходов при операциях приема их на площадке и размещение в могильнике	Радиоактивное загрязнение площадки и рабочих мест	Прием на площадке отходов в упаковках, отвечающих техническим условиям. Использование только исправного технологического оборудования. Сбор, упаковка и захоронение всех радиоактивных загрязнений и загрязнителей	

Стадия строительства и эксплуатации подземного могильника	Факторы воздействия	Негативный результат	Методы устранения нарушений
Консервация могильника		Все подземные работы на данном этапе связаны с минимизацией нарушений массива горных пород (заполнение свободного пространства выработок породными смесями), герметизацией выработок (создание герметизирующих пробок, инженерных барьеров) и организацией системы мониторинга	

Послеконсервационный период		
	Выполняются работы по ликвидации всех объектов, не имеющих функционального значения для могильника, с захоронением производственных отходов в выработках могильника. Производится очистка территории промплощадки, ее дезактивация и возможно полная реабилитация с передачей площадки в общее пользование. Устанавливается предусмотренная проектом система мониторинга	

комплексным оценкам и, что самое главное, выполнить такие оценки воздействий для всех компонентов окружающей среды, в том числе и в упреждающих прогнозах. Это и является главным итогом разработанной классификации.

ВНИПИпромтехнологии

Поступила в редакцию
10.I.1996

УЧЕБНИК "ГИДРОГЕОХИМИЯ"

Учебник "Гидрохимия" (авторы С.Р. Крайнов и В.М. Швец) был высоко оценен научной общественностью и удостоен премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники за 1996 г. Присуждение этой премии является признанием успехов современной гидрохимии, которая в настоящее время является одним из наиболее активно развивающихся научных направлений в науках о Земле. В научно-общественном обсуждении учебника приняли участие многие ученые и преподаватели научных институтов и вузов России, Украины, Беларуси, Казахстана. Было получено 20 отзывов, среди которых отзывы и заключения Института геохимии и аналитической химии (ГЕОХИ РАН), Института водных проблем (ИВП РАН), Гидрохимического института, Института геохимии и геофизики АН Беларуси, Геологического факультета МГУ, Академии минеральных ресурсов, Союза ректоров России, многих кафедр вузов горно-геологического профиля и др. В них отмечается высокий научный уровень учебника, подчеркивается большое теоретическое значение гидрохимии в науках о Земле и исключительно важная практическая роль в жизни человека. Гидрохимия возникла как новое научное направление на стыке классической гидрохимии, геохимии и экологии, синтезируя знания и методы этих наук. Она позволяет решать многие прикладные народнохозяйственные проблемы и поэтому занимает все большее место в науках о Земле.

В учебнике изложены фундаментальные основы формирования химического состава подземных вод в различных глубинных зонах земной коры, которые базируются на синтезе принципов и методов химической термодинамики, физико-химической гидродинамики, геохимии, гидрохимии.

Важно, что новые геохимические и физико-химические положения являются логическим продолжением тех достижений классической гидрохимии и геохимии, которые были заложены классиками отечественной гидрохимии и геохимии – Н.К. Игнатовичем, Г.Н. Каменским, М.Г. Валяшко, А.М. Овчинниковым и др. Теоретические основы гидрохимии, рассмотренные в первой части учебника, позволили на высоком научном и методическом уровне изложить многие прикладные проблемы, решаемые в настоящее время на основе принципов и методов современной гидрохимии. Особое значение гидрохимии проявляется при решении экологических проблем, связанных с загрязнениями среды и ее ухудшающимся качественным состоянием, проблем водоснабжения населения качественной хозяйственно-питьевой водой. Подземные воды, вследствие их относительной хорошей защищенности и значительных ресурсов, становятся основой современного водоснабжения. В России на 1991–1992 гг. они составляли уже 60–65% от всех используемых ресурсов питьевых вод. Сложность проблемы заключается в том, что они должны удовлетворять качеству по большому числу химических компонентов, регламентируемых различными ГОСТами и "Перечнями" и, что не менее важно, это качество должно сохраняться при длительной эксплуатации месторождений питьевых подземных вод. Эта проблема требует достаточно трудоемких прогнозных гидрохимических решений, которые на территории России осложняются существованием крупных региональных гидрохимических провинций подземных вод с повышенными концентрациями многих нормируемых химических элементов (F, B, Fe, Mn, As, Se, Sr, Be, Hg и др.). Такие гидрохимические провинции формируются в результате определенных гидрохимических и геохимических

условий геологических структур, и поэтому принятие прогнозных решений в отношении пространственных и временных изменений химического состава в их пределах является чрезвычайно сложным и ответственным. С этой проблемой близко соприкасается и проблема определения изменений химического состава подземных вод верхних водоносных горизонтов при искусственном восполнении водных ресурсов этих водоносных горизонтов и находящихся в их пределах месторождений питьевых вод.

Другое важное направление гидрохимии – экологическая оценка водной среды в связи с загрязнением подземных вод. Сложность этой проблемы заключается в том, что на качество подземных вод влияет не столько простой привнос в подземные воды различных новых загрязняющих веществ, сколько нарушение естественных физико-химических равновесий в гидрохимических системах и создание новых геохимических условий (особенно Eh-рН-состояний) миграции химических элементов.

Важность гидрохимии для познания экологического состояния геологической среды заключается в том, что химический состав подземных вод непосредственным образом влияет на физиологические функции организма человека и животных и соответственно на уровень здоровья, и в частности на заболеваемость различными видами эндемий. Кроме того, познание процессов формирования химического состава подземных вод дает возможность прогнозировать экологическое состояние растительности, почв, поверхностных вод и пр.

К актуальным проблемам современной гидрохимии относится и формирование химического состава минерализованных вод и рассолов (особенно хлоридных) глубоких зон земной коры. Имеется несколько научно-прикладных выходов решения этой проблемы – это оценка роли хлоридных рассолов в формировании различных рудных месторождений (стратифицированных, гидротермальных и прочих), решение вопросов использования таких рассолов в качестве минерального сырья, оценка теплоэнергетического потенциала вод и рассолов различного химического состава и пр. Кроме этих проблем, в учебнике рассмотрены и другие наиболее актуальные сейчас проблемы – геохимия минеральных (лечебных) подземных вод, геохимические основы проблемы промышленных вод, гидрохимический метод поисков полезных ископаемых и гидрохимические предвестники землетрясений, гидрохимические основы охраны подземных вод от загрязнений и др.

Такая обширность приложения гидрохимии к решению многих научно-производственных проблем следует из особой роли подземных вод в земной коре, о чем было сказано в работах В.И. Вернадского. Решение этих проблем потребовало количественной оценки геохимических процессов и количественных прогнозов результатов этих процессов. Эти прогнозные решения в ряде случаев являются достаточно ответственными, и их разработка требует достаточно углубленных знаний о сущности происходящих геохимических процессов и особенно о количественной результативности этих процессов. Поэтому в последнее десятилетие на смену эмпирическому подходу к анализу гидрохимических явлений пришли новые средства и методы, позволяющие количественно оценивать и прогнозировать на основе точных фундаментальных наук.

В учебнике С.Р. Крайнова и В.М. Швеца "Гидрохимия" достигнуто оптимальное соотношение между научными положениями точных фундаментальных и естественных наук.

Основой научного содержания учебника является следующее методологическое положение: "В гидрохимии все процессы определяются количественными законами точных фундаментальных наук (физики, химии, физико-химической гидродинамики): а внешняя геологическая и гидрохимическая среда определяет граничные условия осуществления и протекания этих процессов". Показано, что геохимические и экологические состояния подземных вод вероятностно детерминируются законами химической термодинамики, физико-химической гидродинамики и кинетики. В результате осуществлена формализация процессов, составляющих основу формирования химического состава подземных вод различных глубинных зон земной коры и созданы модели

формирования различных геохимических типов подземных вод, формирующихся в этих зонах. В ходе такой формализации широко использован и опыт приложения количественных физико-химических методов к познанию процессов формирования химического состава подземных вод, который накоплен в настоящее время в России и США. В частности, в качестве основы для разделов, связанных с приложениями таких методов и компьютерной технологии к познанию гидрогеохимических явлений, были использованы классические разработки И.К. Карпова, Б.Н. Рыженко, Р.М. Гаррелса, Дж. Дривера, Г. Хелгесона, Дж. Хема и др. Все это определило переход от традиционных качественных методов познания гидрогеохимических явлений, которые длительное время преобладали в гидрогеологии и геохимии, к количественным методам их познания и прогноза на основе компьютерного моделирования этих явлений. Имеются и другие достоинства учебника С.Р. Крайнова и В.М. Швеца. Важно, что рассмотрение многих положений учебника ведется с позиций конкретной гидрогеохимии химических элементов, и поэтому учебник является современной сводкой по геохимии многих наиболее важных для практики химических элементов (Sr, Fe, Mn, As, F, Li, Rb, Cs, Br, I, Cu, Zn, Pb, Mo, U, Ra, Rn, N) в подземных водах. И наконец, в учебнике обобщен научный и производственный опыт, накопленный специалистами России и США при решении различных проблем, решаемых с помощью методов современной гидрогеохимии. Поэтому учебник С.Р. Крайнова и В.И. Швеца "Гидрогеохимия" активно используется гидрогеологами, геохимиками и геоэкологами многих стран (Россия, страны СНГ, ФРГ, Китай, Чехия и др.) и как монография по важнейшим проблемам современной гидрогеохимии.

*Б.Н. Рыженко
(ГЕОХИ)*

C O N T E N T S

Danilov, I.D., Cryogenic ecological system of the Arctic basin	3
Environmental Changes	
Kovalevskii, V.S., Semenov, S.M., and Kovalevskii, Yu.V., The climate change influence on the ground waters and related environment.....	16
Zverev, V.P., Varvanina, O.Yu., and Putilina, V.S., Regularities in the rainfall composition change on the territory of Russia	30
Kapel'shchikov, N.A., Lukashov, V.K., Novikov, G.V., Romanov, V.P., and Feigel'man, M.E., Geoenvironmental studies in the area of the Ignalinskaya nuclear power plant..	39
Geoenvironmental Problems in Urbanized Areas	
Kazakova, I.G. and Slinko, O.V., Danger and character of the negative effects upon the ground-water level rise in town	49
Disposal and Utilization of Wastes	
Kupalov-Yaropolk, O.I., Lukina, N.V., Zhemerikina, L.V., and Shyets, V.M., On forecasting the environmental safety of disposal of liquid radioactive wastes in the contact zones between platforms and folded belts	60
Contamination of Ground Waters	
Borevskii, B.V., Borevskii, L.V., Bukharin, S.N., Grigor'ev, S.I., Egorov, N.N., Shipulin, Yu.K., Shchipanskii, A.A., and Yunak, A.I., On the problem of localizing and eliminating oil spills at the military objects of Russia.....	75
Gol'dberg, V.M. and Kovalevskii, Yu.V., Specifics of contamination with the oil products of the former mazut storage areas in the town of Cherepovets.....	84
Research Methods and Techniques	
Trofimov, V.T., and Ziling, D.G., Role and place of the geology sciences in the logical structure of the environmental geology	91
Mazukhina, S.I., Kalabin, G.V., Karzhavin, V.K., and Karpov, I.K., Physico-chemical modeling of nepheline leaching by acid rainfall.....	96
Rechitskii, V.I. and Erlikhman, S.A., The modern methods of estimating the fissure shear strength	102
Dubina, M.M. and Demchenko, R.Ya., Calculation of the temperature regime of buildings with ventilated cellar in the permafrost zone	115
Brief Communication	
Shishchits, I.Yu., On the combined assessment of the environment disturbance upon underground disposal of radioactive wastes.....	121
Book Review	
The manual "Hydrogeochemistry"	124

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор академик РАН
В.И. ОСИПОВ

Зам. главного редактора
доктор геолого-минералогических наук
А.А. ВАРГА

Ответственный секретарь
кандидат геолого-минералогических наук
Н.А. РУМЯНЦЕВА

Доктор наук,
Горно-геологическая академия (Болгария)
К. АНГЕЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук
В.В. БАУЛИН

Доктор геолого-минералогических наук
С.Д. ВОРОНКЕВИЧ

Доктор наук,
Геологический институт АН Китая
ВАН-СЫ ЦЗИНЬ

Доктор наук, Ливерпульская лаборатория
Калифорнийского университета (США)
П. ВИТЕРСПУН

Доктор наук, Карлтонский университет
(Канада)
П. ВИЛЬЯМС

Доктор геолого-минералогических наук
Э.Д. ЕРШОВ

Доктор технических наук
Г.А. МАРКОВ

Доктор геолого-минералогических наук
И.П. ЗЕЛИНСКИЙ

Доктор наук,
Геологическая служба ФРГ
М. ЛАНГЕР

Член-корреспондент РАН
В.А. МИРОНЕНКО

Доктор геолого-минералогических наук
И.А. ПАРАБУЧЕВ

Доктор геолого-минералогических наук
Е.М. ПАШКИН

Член-корреспондент РАН
Е.В. ПИННЕКЕР

Академик РАН
Е.М. СЕРГЕЕВ

Доктор наук, Институт низких температур
университета Хокайдо (Япония)
М. ФУКУДА

Доктор геолого-минералогических наук
В.М. ШВЕЦ

Адрес редакции:

117810 Москва ГСП-1 Мароновский пер., 26

Телефон: 230-79-67

Заведующая редакцией А.А. Мазаева

Технический редактор Н.И. Демидова

Сдано в набор 23.06.97 Подписано к печати 06.08.97 Формат бумаги 70 × 100¹/16
Офсетная печать Усл. печ. л. 11,7 Усл. кр.-отт. 5,5 тыс. Уч.-изд. л. 12,4 Бум. л. 4,5
Тираж 465 экз. Зак. 1900

Адрес редакции: 117810 Москва ГСП-1 Мароновский пер., 26, тел. 230-79-67
Московская типография № 2 РАН, 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 6

Российская академия наук * Издательство "Наука"

Заявка, подписанная руководителем и заверенная печатью организации, направляется письмом в Издательство "Наука" по адресу: 117864, ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., 90. Для ускорения обработки Вашего заказа высыпайте копию заявки по факсу (095) 420 2220 либо по электрон. почте nauka@apr.ru nauka@apr.msk.su WWW: HTTP://www.apr.ru

Заявка на специальную подписку

на журналы Издательства "НАУКА"

с доставкой по почте через Агентство подписки и розницы (АПР),
в 1-м полугодии 1998 года

**Физика. Математика
Астрономия. Геология
Географические науки
Технические науки
Журналы РАН
общего содержания**

Наименование организации (сокращенно и полностью)

Местонахождение: почтовый индекс _____ Область (рай, респ.) _____
город _____ ул. _____ дом _____ корп. _____
код+тел. _____ факс _____ е-mail _____

Полный почтовый адрес организации для писем и бандеролей (если он отличается от адреса местонахождения)

Просим оформить специальную адресную подписку на отмеченные ниже журналы, необходимые для научно-исследовательской (учебной, производственной) деятельности на территории России:

Индекс	Наименование журнала	Кол-во выпусков в полугодие	Кол-во подписных комплектов за минимальный срок подписки (впишите в колонку соответствующего месяца число заказываемых подписных комплектов на выбранные Вами журналы)						Всего заказано подписных комплектов на 1-е полугодие (4+5+6+7+8+9)	Цена 1-го подписного комплекта за минимальный срок подписки (в руб.)	Итого сумма в рублях (10 × 11)
			январь	февраль	март	апрель	май	июнь			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
70001	Автоматика и телемеханика	6									17 000
70010	Акустический журнал	3									17 400
70237	Алгебра и анализ	3									22 000
70030	Астрономический вестник	3									16 700
70024	Астрономический журнал	3									17 500
70053	Биофизика	3									17 500
70134	Водные ресурсы	3									18 500
70162	Вулканология и сейсмология	3									15 100
70217	Геология рудных месторождений	3									17 100
70218	Геомагнетизм и аэрономия	3									16 600
70215	Геоморфология	2									15 600
70228	Геотектоника	3									17 800
70393	Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология	3									15 700
70253	Дефектоскопия	6									15 400
70239	Дискретная математика	2									17 300
70244	Доклады РАН	18									52 000

см. на обороте ...

Индекс	Наименование журнала	Кол-во выпусков в полугодие	Кол-во подписных комплектов за минимальный срок подписки (впишите в колонку соответствующего месяца число заказываемых подписных комплектов на выбранные Вами журналы)									Всего заказано подписных комплектов на 1-е полугодие (4+5+6+7+8+9)	Цена 1-го подписного комплекта за минимальный срок подписки (в руб.)	Итого сумма в рублях (10 × 11)
			Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Январь	Февраль	Март	Апрель		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
70287	Журнал вычислительной математики и математической физики	6												15 600
70290	Журнал научной и прикладной фотографии	3												17 800
70298	Журнал технической физики	6												24 300
70303	Журнал экспериментальной и теоретической физики	6												21 200
70324	Записки Всероссийского минералогического общества	3												18 100
70335	Защита металлов	3												16 100
70406	Известия РАН. Механика жидкости и газа	3												17 400
70408	Известия РАН. Механика твердого тела	3												18 100
70351	Известия РАН. Серия географическая	3												16 400
70355	Известия РАН. Серия математическая	3												18 400
70356	Известия РАН. Серия физическая	6												17 100
70360	Известия РАН. Физика атмосферы и океана	3												19 300
70407	Известия РАН. Энергетика	3												16 600
70405	Известия РАН. Теория и системы управления	3												17 900
70363	Известия русского географического общества	3												16 700
70420	Исследования Земли из космоса	3												15 900
70459	Космические исследования	3												16 600
70447	Кристаллография	3												19 500
70493	Литология и полезные ископаемые	3												15 800
70560	Математические заметки	6												14 500
70512	Математический сборник	6												15 600
70502	Математическое моделирование	6												15 300
70571	Микроэлектроника	3												15 600
70670	Оптика и спектроскопия	6												22 600
70642	Петрология	3												17 700
70769	Письма в "Астрономический журнал"	6												13 800
70768	Письма в "Журнал технической физики"	12												33 300
70304	Письма в "Журнал экспериментальной и теоретической физики"	6												27 000
70748	Поверхность. Рентгеновский, синхротронные и нейтронные исследования	6												15 600

Индекс	Наименование журнала	Кол-во выпусков в полугодие	Кол-во подписных комплектов за минимальный срок подписки (впишите в колонку соответствующего месяца число заказываемых подписных комплектов на выбранные Вами журналы)									Всего заказано подписных комплектов на 1-е полугодие (4+5+6+7+8+9)	Цена 1-го подписного комплекта за минимальный срок подписки (в руб.)	Итого сумма в рублях (10 x 11)
			январь	февраль	март	апрель	май	июнь	январь	февраль	март	апрель		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
70706	Прикладная математика и механика	3											16 300	
70556	Проблемы машиностроения и надежности машин	3											15 800	
70741	Проблемы передачи информации	2											16 100	
70776	Радиотехника и электроника	6											16 500	
70797	Расплавы	3											15 900	
70810	Сенсорные системы	2											16 500	
73390	Стратиграфия. Геологическая корреляция	3											18 500	
70982	Теоретическая и математическая физика	6											16 100	
70965	Теория вероятностей и ее применение	2											40 800	
70967	Теплофизика высоких температур	3											20 500	
71002	Успехи математических наук	3											19 100	
70361	Физика Земли	6											16 500	
71034	Физика и техника полупроводников	6											24 400	
71059	Физика и химия стекла	3											20 000	
71022	Физика металлов и металловедение	6											15 900	
71058	Физика плазмы	6											15 400	
71023	Физика твердого тела	6											28 500	
71036	Функциональный анализ и его приложения	2											15 300	
71140	Ядерная физика	6											21 800	

ВСЕГО заказано журналов на сумму:

(прописью)

НДС не облагается. Оплату гарантируем на расчетный счет ЗАО "Агентство подписки и розницы" в течение 5 банковских дней после получения счета.

ДИРЕКТОР ОРГАНИЗАЦИИ

М.П.

ГЛАВНЫЙ БУХГАЛТЕР

ВНИМАНИЕ: Оплата заказа производится только после получения счета от ЗАО (АПР). Издательство "Наука" не гарантирует исполнение подписных заказов на номера журналов, вышедшие из печати до получения настоящей Заявки и неоплаченных заявок. Отправка заказанных и оплаченных периодических изданий производится Агентством подписки и розницы в течение 10-ти дней со дня выхода издания из печати заказными отправлениями на адрес, указанный Организацией в настоящей заявке. Претензии по доставке периодических изданий направлять в АПР по адресу: 103009 Москва, Страстной бульвар д. 4, офис 94; тел. (095) 974-11-11, факс (095) 209-36-66, e-mail nauka@apr.ru nauka@apr.msk.su WWW: HTTP://www.apr.ru

Российская Академия Наук * Издательство "Наука"

**Заявка индивидуального подписчика
на специальную подписку на журналы Издательства "НАУКА"**

с доставкой по почте через Агентство подписки и розницы (АПР)

в 1-м полугодии 1998 года

Ф.И.О. (полностью) _____

Место работы и должность: _____

Полный почтовый адрес: _____

телефон: _____ e-mail: _____

Индекс	Наименование журнала	На 1998 год по месяцам (отметьте крестиком)						Кол-во комп-лектоов	Итого сумма в рублях
		январь	фев-раль	март	апрель	май	июнь		
								1	
								1	
								1	
								1	
								1	
								1	

Заполните заявку (копию заявки) и отправьте письмом в Издательство "Наука" по адресу: 117864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., 90, или по факсу (095) 420-22-20 или 334-76-50. Информацию о ценах можно узнать в Заявках на специальную адресную подписку, разосланную в организации, или по телефону для справок: (095) 334-74-50 и 974-11-11.

ВНИМАНИЕ: Оплата заказа производится через отделение банка или почтовым переводом **только после** получения подписчиком счета с банковскими реквизитами от ЗАО "Агентство подписки и розницы" (АПР) – официального распространителя изданий Издательства "Наука". Издательство "Наука" не гарантирует исполнение подписных заказов на номера журналов, вышедшие из печати до получения настоящей Заявки и неоплаченных заявок. Отправка заказанных и оплаченных периодических изданий производится Агентством подписки и розницы в течение 10-ти дней со дня выхода издания из печати заказными отправлениями на адрес, указанный в настоящей заявке. Претензии по доставке периодических изданий направлять в АПР по адресу: 103009 Москва, Страстной бульвар д. 4, офис 94; тел. (095) 974-11-11, факс (095) 209-36-66, e-mail nauka@apr.ru nauka@apr.msk.su **WWW: HTTP://www.apr.ru**

Российская академия наук * Издательство "Наука"

Заявка, подписанная руководителем и заверенная печатью организации, направляется письмом в Издательство "Наука" по адресу: 117864, ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90. Для ускорения обработки Вашего заказа высыпайте копию заявки по факсу (095) 420 2220 либо по электрон. почте nauka@apr.ru или nauka@msk.su WWW: HTTP://www.apr.ru

Заявка на специальную подписку

на журналы Издательства "НАУКА"

с доставкой по почте через Агентство подписки и розницы (АПР)
в 1-м полугодии 1998 года

Химические науки
Биологические науки

Журналы РАН
общего содержания

Наименование организации (сокращенно и полностью) _____

Местонахождение: почтовый индекс _____ Область (край, респ.) _____
город _____ ул. _____ дом _____ корп. _____
код+тел. _____ факс _____ е-mail _____

Полный почтовый адрес организации для писем и бандеролей (если он отличается от адреса местонахождения)

Просим оформить специальную адресную подписку на отмеченные ниже журналы, необходимые для научно-исследовательской (учебной, производственной) деятельности на территории России:

Индекс	Наименование журнала	Кол-во выпусков в полугодие	Кол-во подписных комплектов за минимальный срок подписки (впишите в колонку соответствующего месяца число заказываемых подписных комплектов на выбранные Вами журналы)									Всего заказано подписных комплектов на 1-е полугодие (4+5+6+7+8+9)	Цена 1-го подписного комплекта за минимальный срок подписки (в руб.)	Итого сумма в рублях (10 × 11)
			январь	февраль	март	апрель	май	июнь	10	11	12			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
70008	Агрехимия	6										15 100		
70112	Биологические мембранны	3										15 300		
71151	Биология моря	3										14 300		
71150	Биоорганическая химия	6										15 400		
70054	Биохимия	6										14 900		
70056	Ботанический журнал	6										19 800		
70147	Вопросы ихтиологии	3										19 200		
70178	Высокомолекулярные соединения	6										20 200		
70211	Генетика	6										16 300		
70219	Геохимия	6										14 900		
70244	Доклады РАН	18										52 000		
70284	Журнал аналитической химии	6										16 200		
70286	Журнал высшей нервной деятельности им. И. Павлова	3										16 900		
70293	Журнал общей биологии	3										16 600		

см. на обороте ...

Индекс	Наименование журнала	Кол-во выпусков в полугодие	Кол-во подписных комплектов за минимальный срок подписки (впишите в колонку соответствующего месяца число заказываемых подписных комплектов на выбранные Вами журналы)						Всего заказано подписных комплектов на 1-е полугодие (4+5+6+7+8+9)	Цена 1-го подписного комплекта за минимальный срок подписки (в руб.)	Итого сумма в рублях (10 × 11)
			январь	февраль	март	апрель	май	июнь			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
71068	Химическая физика	6									14 900
71051	Химия высоких энергий	3									15 100
71052	Химия твердого топлива	3									15 300
71063	Цитология	6									19 100
71113	Электрохимия	6									18 200
71110	Энтомологическое обозрение	2									22 800

ВСЕГО заказано журналов на сумму:

(прописью)

НДС не облагается. Оплату гарантируем на расчетный счет ЗАО "Агентство подписки и розницы" в течение 5 банковских дней после получения счета.

ДИРЕКТОР ОРГАНИЗАЦИИ

М.П.

ГЛАВНЫЙ БУХГАЛТЕР

ВНИМАНИЕ: Оплата заказа производится только после получения счета от ЗАО (АПР). Издательство "Наука" не гарантирует исполнение подписных заказов на номера журналов, вышедшие из печати до получения настоящей Заявки и неоплаченных заявок. Отправка заказанных и оплаченных периодических изданий производится Агентством подписки и розницы в течение 10-ти дней со дня выхода издания из печати заказными отправлениями на адрес, указанный Организацией в настоящей заявке. Претензии по доставке периодических изданий направлять в АПР по адресу: 103009 Москва, Страстной бульвар д. 4, офис 94; тел. (095) 974-11-11, факс (095) 209-36-66, e-mail nauka@apr.ru nauka@apr.msk.su WWW: HTTP://www.apr.ru

Российская Академия Наук * Издательство "Наука"

Заявка индивидуального подписчика
на специальную подписку на журналы Издательства "НАУКА"

с доставкой по почте через Агентство подписки и розницы (АПР)

в 1-м полугодии 1998 года

Ф.И.О. (полностью) _____

Место работы и должность: _____

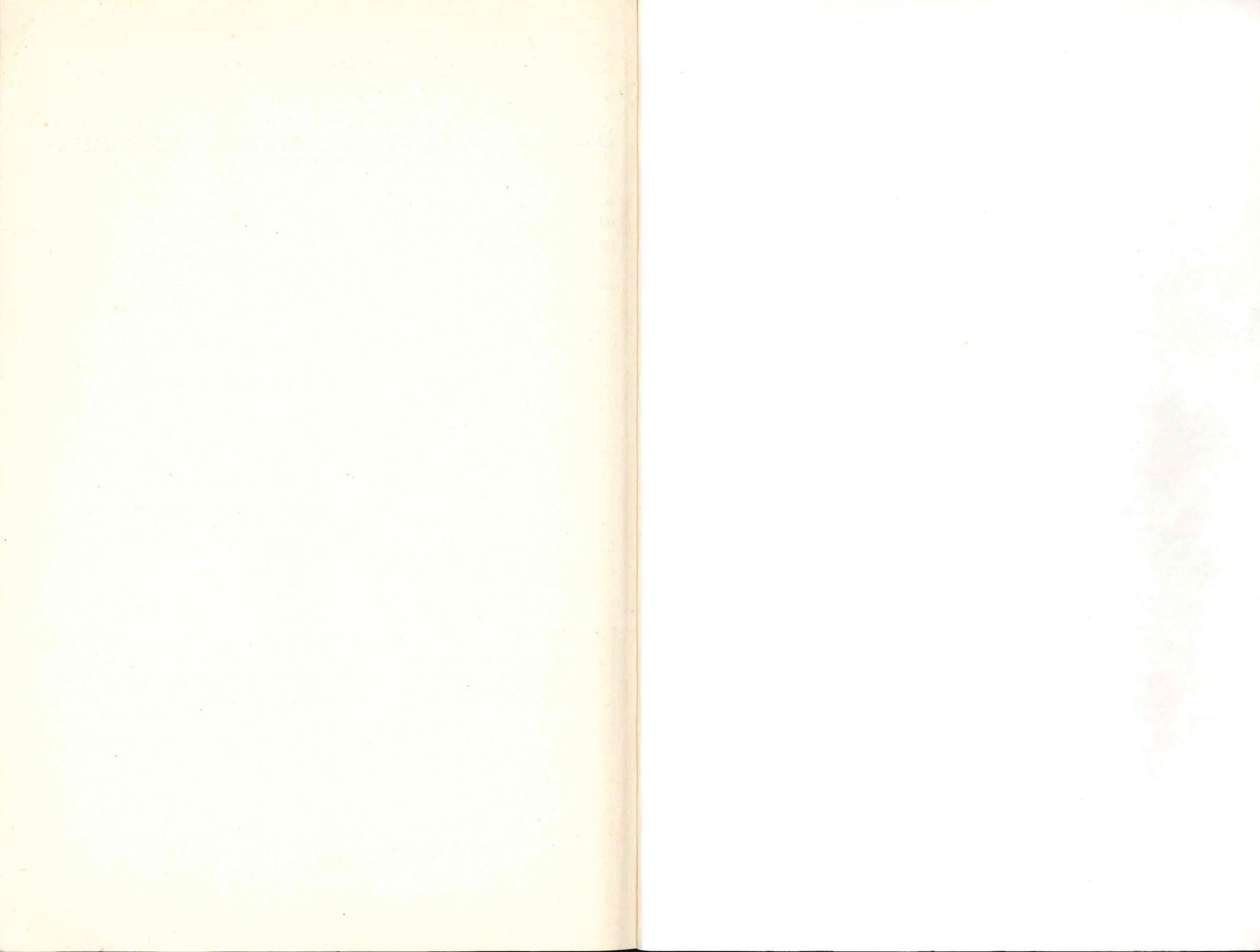
Полный почтовый адрес: _____

телефон: _____ e-mail: _____

Индекс	Наименование журнала	На 1998 год по месяцам (отметьте крестиком)						Кол-во комплектов	Итого сумма в рублях
		январь	февраль	март	апрель	май	июнь		
								1	
								1	
								1	
								1	
								1	
								1	

Заполните заявку (копию заявки) и отправьте письмом в Издательство "Наука" по адресу: 117864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., 90, или по факсу (095) 420-22-20 или 334-76-50. Информацию о ценах можно узнать в Заявках на специальную адресную подписку, разосланную в организации, или по телефону для справок: (095) 334-74-50 и 974-11-11.

ВНИМАНИЕ: Оплата заказа производится через отделение банка или почтовым переводом **только после** получения подписчиком счета с банковскими реквизитами от ЗАО "Агентство подписки и розницы" (АПР) – официального распространителя изданий Издательства "Наука". Издательство "Наука" не гарантирует исполнение подписных заказов на номера журналов, вышедшие из печати до получения настоящей Заявки и неоплаченных заявок. Отправка заказанных и оплаченных периодических изданий производится Агентством подписки и розницы в течение 10-ти дней со дня выхода издания из печати заказными отправлениями на адрес, указанный в настоящей заявке. Претензии по доставке периодических изданий направлять в АПР по адресу: 103009 Москва, Страстной бульвар д. 4, офис 94; тел. (095) 974-11-11, факс (095) 209-36-66, e-mail nauka@apr.ru nauka@apr.msk.su **WWW: HTTP://www.apr.ru**



УВАЖАЕМЫЕ ПОДПИСЧИКИ НАУЧНОЙ ПЕРИОДИКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "НАУКА"

Подписка на академические журналы издательства "Наука" в I полугодии 1998 г. будет проводиться по той же схеме, по которой она велась в предыдущем полугодии, – по ценам Объединенного Каталога Почты России "Подписка-98" (т. 1) в отделениях связи и по специальным (сниженным) ценам.

Специальные (сниженные) цены предоставляются Российской академией наук государственным академическим, библиотечным, вузовским, отраслевым научно-исследовательским организациям, их сотрудникам, докторантам и аспирантам. Цены Издательства в I полугодии 1998 г. не увеличены и остались на уровне цен II полугодия 1997 г. Цена доставки по почте на ваш адрес незначительно возросла.

Индивидуальные подписчики указанных организаций смогут оформить подписку по специальным ценам в редакциях соответствующих журналов либо непосредственно в Издательстве или его Санкт-Петербургском и Екатеринбургском отделениях по предъявлении служебного удостоверения. Лица, желающие получать подписные издания непосредственно на свои почтовые адреса, а также иногородние подписчики смогут оформить ее по специальным заявкам. Индивидуальная подписка по-прежнему будет проводиться по принципу "Один специалист – одна подпись".

Коллективные подписчики для оформления своего заказа должны будут направить в Издательство "Наука" надлежаще оформленные бланк-заказы. При положительном рассмотрении Издательством полученных заявок оплата производится через отделения банка или почтовым переводом на основании полученного подписчиками счета ЗАО "Агентство подписки и розницы" (АПР).

Специализирующиеся на комплектовании научных и вузовских библиотек академические организации (БАН, БЕН, ИНИОН, ГПНТБ СО РАН, а также ВИНИТИ и др.) могут осуществить подписку, как и прежде, непосредственно в Издательстве, предварительно согласовав с ним список пользующихся их услугами организаций и количество льготных подписок.

Государственным организациям и лицам, работающим в них, получившим право подписки по специальным ценам в предыдущем полугодии, достаточно будет при оформлении подписки в I полугодии 1998 г. лишь подтвердить заказ, указав в письме номер своего кода, присвоенного АПР при оформлении подписки на II полугодие 1997 года.

Бланки заказов как коллективных, так и индивидуальных подписчиков будут приниматься только с печатью организации (оттиск должен быть четким и читаемым).

Убедительно просим всех индивидуальных и коллективных подписчиков журналов Издательства "Наука", имеющих право на подписку по специальным ценам, заблаговременно направлять свои заказы и письма по адресу: 117864, ГСП-7 Москва, В-485 Профсоюзная ул., 90 комната 430, факсы: 334-76-50, 420-22-20.

Поздно поданная заявка будет оформляться только с соответствующего месяца.

В конце этого номера журнала публикуются бланки заявок с указанием цены подписки, доставляемой по вашему адресу.



«НАУКА»