

МАГИСТРАТУРА

М.С. Орлов, К.Е. Питьева

ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЯ ГОРОДОВ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

УЧЕБНИКИ, ДИПЛОМЫ, ДИССЕРТАЦИИ -
полные тексты
На сайте электронной библиотеки
www.учебники.информ2000.рф

НАПИСАНИЕ на ЗАКАЗ:

1. Диссертации и научные работы
2. Дипломы, курсовые, рефераты, чертежи...
3. Школьные задания

Онлайн-консультации

ЛЮБАЯ тематика, в том числе ТЕХНИКА

Приглашаем авторов



Электронно-
Библиотечная
Система
znanium.com

Уважаемый читатель!
Вы держите в руках книгу,
дополнительные материалы которой
доступны Вам БЕСПЛАТНО
в Интернете на www.znaniium.com
Специального программного
обеспечения не требуется



М.С. ОРЛОВ
К.Е. ПИТЬЕВА

ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЯ ГОРОДОВ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

*Допущено
УМО по классическому университетскому образованию
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по направлению подготовки 020700 «Геология»*

**Электронно-
Библиотечная**

znanium.com

*Соответствует
Федеральному государственному
образовательному стандарту
3-го поколения*

Москва
ИНФРА-М
2015

~~УДК 577.4(075.8)~~

~~ББК 26.22я73~~

~~063~~

Об авторах:

Питьева Клара Ефимовна – профессор геологического ф-та МГУ, заслуженный профессор МГУ, д-р геолого-минерал. наук, академик Российской экологической академии, заслуженный работник высшей школы РФ, участник Великой Отечественной войны, орденноносец;

Орлов Михаил Сергеевич – доцент геологического ф-та МГУ, заслуженный преподаватель МГУ, кандидат геолого-минерал. наук, почетный работник высшего профессионального образования

Рецензенты:

А.П. Хаустов, профессор, зав. каф. Академии МНЭПУ;

В.М. Швеи, д-р геолого-минерал. наук, профессор, зав. кафедрой Московского геологоразведочного университета

Орлов М.С., Питьева К.Е.

063

Гидрогеоэкология городов: Учеб. пособие. — М.: ИНФРА-М, 2015. — 288 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс; Режим доступа <http://www.znanium.com>]. — (Высшее образование: Магистратура).

ISBN 978-5-16-006050-7

В учебном пособии изложены теоретические, методические и прикладные вопросы относительно нового научного направления — гидрогеоэкологии, рассматривающего подземные воды в качестве компонента экосистем. В качестве примеров взяты Москва, Калуга и некоторые другие населенные пункты. Анализируются региональные, гидрогеодинамические и гидрогеохимические особенности сложившейся обстановки в городских поселениях, источники подтопления, истощения и загрязнения подземных вод. Исследуются негативные инженерно-геологические процессы, вызванные антропогенным воздействием на подземные воды. Предложены схемы мониторинга подземных вод, а также меры охраны, защиты и реабилитации подземных вод.

Пособие предназначено для студентов и магистрантов, обучающихся по направлению «Геология».

ББК 26.22я73

Материалы, отмеченные знаком , доступны в электронно-библиотечной системе [znanium](http://www.znanium.com) (www.znanium.com)

ISBN 978-5-16-006050-7

© Орлов М.С., Питьева К.Е., 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Актуальность издания данного учебного пособия неоспорима: соответствующие учебные курсы уже читаются в ряде вузов (МГУ, МНЭПУ, РГГРУ, КазГУ и др.) [14, 16, 23], однако данное учебное пособие является первым по этому курсу. Авторы пособия на основе читаемых ими в течение 15 лет курсов рассмотрели и представили в удобном для обучения студентов виде новый и оригинальный материал по Москве, Калуге и некоторым менее крупным городам (Обнинск, Малоярославец).

Подземные воды, наряду с поверхностными, изначально использовались человеком для питьевого водоснабжения, а в последнее время стали широко применяться в разных отраслях промышленности, для лечебных целей, для теплоснабжения и пр. Это вызвало негативные изменения в составе вод и ухудшение их качества.

Перед гидрогеологией как особым самостоятельным разделом наук о Земле встала задача изучения формирования подземных вод на новом качественном уровне, позволяющем оградить их от опасного техногенного влияния и сохранить их природную основу. Процессы, развивающиеся в миграционных водных системах в условиях техногенеза, до настоящего времени изучены слабо.

Гидрогеологические проблемы городских территорий чрезвычайно сложны, что объясняется следующими причинами:

- разнообразием видов техногенной нагрузки и различными формами изменений в составе подземных вод под их влиянием;
- подверженностью техногенным изменениям взаимосвязанных с подземными водами поверхностных вод, почв, пород;
- техногенным влиянием на преобладающую часть компонентов состава подземных вод;
- разнонаправленностью и многообразием физико-химических процессов в миграционных системах атмосферы;
- сложностью природных условий исследуемых территорий.

Основные виды существенного техногенного преобразования подземных вод связаны с подтоплением и загрязнением. В связи с этим важны, но слабо изучены проблемы агрессивного состояния техногенно измененных подземных вод с фундаментами сооружений, просадок, изменения прочностных и фильтрационных свойств пород вследствие вторичного минералообразования, развивающегося в условиях загрязнения.

Следует выделить раздел, посвященный методическим вопросам гидрогеоэкологических исследований городов, особенно гидрогеохимических проблем, — изложенный в нем материал будет весьма полезен к применению в исследованиях по другим населенным пунктам.

Учебное пособие предназначено для студентов и магистрантов, обучающихся по программам «Гидрогеология и гидрогеоэкология», «Экологическая геология» на геологических факультетах, но может использоваться и для обучающихся на географических и экологических факультетах по специальностям «рациональное природопользование» и «геоэкология».

В разделе I в общем плане обсуждены гидрогеоэкологическая обстановка и состояние подземной гидросферы в городах, выявлены основные источники возмущения в сложившихся экосистемах. Особое внимание уделено здесь проблемам оценки защищенности подземных вод от загрязнения, в том числе гидрогеохимическим оценкам.

Раздел 2 содержит объемный материал по методам и методикам исследования гидрогеоэкологических обстановок, явлений и процессов в городах. В нем рассмотрен широкий спектр вопросов — от методов градостроительной оценки и составления карт функционального зонирования городов к комплектации их генеральных планов до обоснования обязательного перечня аналитических исследований. Приведены методики естественно-исторического анализа и применены методы математической статистики для выявления на территориях городов фоновых и аномальных концентраций компонентов химического состава подземных вод. Даны примеры использования этих методов.

С новых методических позиций в учебном пособии представлена гидрогеохимическая классификация, впервые правильно отражающая понятие «химический состав подземных вод как геологического тела» посредством полной его характеристики через минерализацию и образующие ее компоненты и определяющая генезис подземной воды.

Весьма убедительны предложения по использованию в гидрогеологических работах в комплексе методических приемов представлений о гидрогеохимической и геофильтрационной защищенности подземных вод от загрязнения, а также методики геолого-гидрогеологической оценки потенциальных зон ухудшения качества подземных вод.

Для территорий городов и других населенных пунктов впервые предложен показатель загрязнения подземных вод, которым являются

адсорбированные газообразные углеводороды. Обоснование этого выглядит убедительно, особенно для работ с водными средами, в том числе с подземными водами, стоками и атмосферными осадками.

Установлен перечень характерных для городов компонентов-загрязнителей макро- и микроуровня, среди которых в качестве обязательного, повсеместно распространенного загрязнителя акцентированы органические составляющие.

В основу учебного пособия положены авторские разработки, представляющие значительную ценность в общенаучном и специальном плане.

Раздел 3 целиком посвящен проблемам Москвы. Достаточно подробно в рамках учебного пособия изложена сложившаяся гидрогеоэкологическая обстановка в городе и в ближайших пригородах. Обоснована необходимость совместного рассмотрения сопредельных абиотических компонентов экосистем города: атмосферного воздуха и осадков; поверхностных вод и донных отложений; почв; грунтовых и межпластовых вод. Помимо учебного, эта глава имеет также и познавательное значение, поскольку содержит новый, лишь частично опубликованный материал.

В разделе 4 излагаются те же вопросы, но применительно к Калуге и городам Калужской области. Естественно, что значимость города, степень изученности природных условий и масштабы рассмотрения сказались на оценках защищенности, на учете взаимовлияния гидрогеодинамических и гидрогеохимических характеристик.

В разделе 5 приведен свежий, порой оригинальный материал по обоснованию, проектированию и ведению гидрогеоэкологического мониторинга подземных вод. Здесь справедливо подчеркнута, что мониторинг подземных вод будет более информативным и экономически целесообразным, если он станет составной частью общегородской системы экомониторинга.

В заключение (раздел 6) обсуждаются перспективные направления в развитии гидрогеоэкологических проблем, методов и решения прикладных задач.

Весь учебный материал пособия удачно распределен. В нем присутствует теоретическое обоснование курса, изложенное кратко и доступно. Имеется большая методическая часть, представленная оригинальными методами и методиками получения, обработки и интерпретации гидрогеохимической информации. Здесь же приводятся примеры решения конкретных гидрогеоэкологических задач. В частности, имеются примеры выявления загрязнения подземных вод и контактирующих с ними иных компонентов экосистемы.

Учебное пособие в целом производит очень хорошее впечатление своей проработанностью в теоретическом, методическом и прикладном содержании. Наиболее интересным и убедительным выглядит материал по Москве, степень гидрогеоэкологической изученности которой достаточно высока. Но и рассмотрение гидрогеоэкологических проблем менее крупных городов сделано на высоком уровне и результативно.

Учебное пособие М.С. Орлова и К.Е. Питьевой представляет собой крупный научно обоснованный труд, имеющий несомненное значение для познания гидрогеоэкологических проблем городов. Оно должно быть интересно и полезно не только студентам, но и широкому кругу геологов, гидрогеологов и экологов.

Доктор геолого-минералогических наук,
профессор *В.М. Швец*

ВВЕДЕНИЕ

Основными теоретическими вопросами исследования городских территорий с рассматриваемой позиции являются [14, 15, 16]:

- изучение фоновых геологических, гидрогеологических и гидрогеохимических характеристик;
- теоретическое гидрогеологическое обоснование и разработка комплексной высокоэффективной методики прогноза распространения техногенных нагрузок на подземные и поверхностные воды;
- разработка и внедрение экологического мониторинга подземных и поверхностных вод;
- изучение физико-химических процессов и факторов формирования гидрогеохимических аномалий загрязнения.

Влияние техногенных нагрузок сказывается: на глубине залегания подземных вод, их химическом составе, температуре; появлении областей техногенного питания; преобразовании структуры подземного фильтрационного потока; изменениях прогнозных и фильтрационных свойств пород; возникновении новых физико-химических процессов.

Основные задачи гидрогеоэкологических исследований:

- установление водоносных комплексов, подверженных техногенному влиянию. Изучение гидрогеологического строения территории городов в естественных и нарушенных условиях (структуры потока, областей и величин техногенного инфильтрационного питания, взаимосвязи подземных вод с поверхностными);
- определение границ распространения подземных вод, характеризующихся определенными техногенными процессами во времени и пространстве;
- изучение геофильтрационной структуры водоносных комплексов; определение геомиграционных параметров;
- систематизация техногенных нагрузок;
- гидрогеохимическое обоснование и типизация загрязнения подземных вод; схематизация физико-химических преобразований компонентов-загрязнителей в местах их формирования (в атмосфере, составах промстоков и твердых отходов); в местах транспортных путей; в зоне аэрации; в подземных и поверхностных водах. Оценка защищенности подземных вод от всех видов загрязнения; составление карты защищенности; уточнение закономер-

ностей изменения концентрации компонентов-загрязнителей в техногенной области под влиянием процессов смешения;

- прогнозы расположения участков подтопления и загрязнения, изменения их границ во времени, смены граничных условий;
- научное обоснование природоохранных (охрана, защита и реабилитация) рекомендаций посредством решения прогнозных задач.

Основные приемы геоэкологических исследований: естественно-исторический анализ; картографирование; классифицирование, теоретические обобщения; режим, моделирование (экспериментальное, термодинамическое, математическое).

Негативная роль загрязнения городской среды сказывается прежде всего на здоровье детей. Вещества, загрязняющие воздух, вызывают у людей всех возрастных групп нарушение дыхательных функций и патологические изменения дыхательных путей (проявляющиеся в первую очередь в бронхитах, трахеитах, ринитах, астме и т.д.), воспаление глаз, ослабление общей сопротивляемости организма патогенным факторам, раздражение центральной нервной системы.

Атмосферная пыль образована взвешенными твердыми частицами диаметром от 0,01 до 100 мкм с адсорбированными на них парами и газами различных веществ. Частицы диаметром более 10 мкм при вдохе задерживаются в верхних дыхательных путях. Частицы размером менее 5 мкм проникают глубоко в легкие, достигая легочных альвеол.

Химический состав пылевых частиц очень сложен. Анализ выявляет наличие асбеста, парафинов, ароматических углеводородных полициклических соединений (в том числе достоверного канцерогена — 3,4-бенз(а)пирена) и широкого спектра соединений тяжелых металлов — мышьяка, свинца, меди, серебра, никеля, кобальта, марганца, цинка, титана, олова, хрома, ванадия, ртути.

Выявлена однозначная зависимость между концентрацией пыли в воздухе и хроническими заболеваниями дыхательных путей, в первую очередь заболеваниями астмой, бронхитом и эмфиземой легких. Патология проявляется тем в большей степени, чем выше содержание сульфатов и нитритов, повышенное содержание которых свойственно частицам пыли размером 3—5 мкм. Концентрация пыли в пределах от 70 до 150 мкг/м³ является причиной кашля, катара верхних дыхательных путей, аллергических заболеваний и хронических ринитов.

Сернистый ангидрид и сульфаты оказывают влияние прежде всего на слизистую оболочку верхних дыхательных путей. Проникая

и легкие с частицами пыли размером 1–2 мкм, они нарушают функции ресничного эпителия, стимулируют секретобразование и в конечном итоге вызывают частичную или полную обструкцию бронхиол и бронхов.

Диоксид азота и его фотохимические производные влияют не только на органы дыхания, но и на глаза. При малых дозах развиваются аллергические реакции и раздражения, при больших — бронхиты и трахеиты. Концентрация диоксида азота в пределах от 100 до 300 мг/м³ достаточна для того, чтобы вызвать затруднения дыхания, особенно у больных астмой, а при длительных воздействиях — для развития бронхита.

Монооксид углерода, поступая из вдыхаемого воздуха в кровь, соединяется с гемоглобином, образуя карбоксигемоглобин, препятствуя, таким образом, насыщению кислородом тканей мышц и мозга. При концентрации монооксида углерода 20–40 мкг/м³ (концентрация, характерная для узких улиц с интенсивным движением транспорта) возникают нарушения функций центральной нервной системы: ослабевает реакция, зрение, нарушается ориентация в пространстве и во времени; у больных сердечно-сосудистыми заболеваниями провоцируются острые осложнения: нарушения циркуляции крови, сердечные приступы и т.д.

В настоящее время выделен и систематизирован новый класс болезней — микроэлементозы, возникновение которых связано с недостатком или избытком (дисбалансом) поступающих в организм жизненно необходимых элементов.

Содержание микроэлементов в организме находится в прямой зависимости от их содержания в разных фазах окружающей среды. Воздействие геохимических факторов среды и организма (в том числе человеческого) определяется в последовательных звеньях экологической системы «атмосфера — природные воды — почва — растения — животные — человек».

Из 92 встречающихся в природе элементов 81 обнаружен в организме человека. При этом многие из них (кальций, магний, кислород, углерод, сера, азот, железо, иод, медь, молибден, цинк, кобальт, хром, никель, ванадий, селен, марганец, мышьяк, фтор, кремний, литий) эссенциальны, т.е. жизненно необходимы. Это представляется вполне естественным обстоятельством, поскольку человек и его предки прошли весьма длительную эволюцию в геохимическом поле Земли и адаптировались к нему. Недостаточность или избыточное поступление этих элементов может оказаться чрезвычайно опасным. Влияние хемополлютантов на здоровье может быть

различным — от функциональных сдвигов в организме до тяжелых последствий в виде заболеваний или смертельных случаев. Следует отметить, что фактически все элементы обладают эссенциальными свойствами, однако каждому из них присущ специфический диапазон безопасной концентрации (и экспозиции), в пределах которого сохраняются и поддерживаются оптимальные внутритканевые концентрации.

Введение, разделы 3 и 6 написаны совместно проф. К.Е. Питьевой и доц. М.С. Орловым; разделы 2 и 4 — проф. К.Е. Питьевой; разделы 1 и 5 — доц. М.С. Орловым.

Авторы выражают глубокую благодарность за большую помощь в оформлении учебного пособия сотрудникам кафедры гидрогеологии МГУ им. М.В. Ломоносова А.А. Соломко, Е.Ю. Потаповой, М.В. Шалагину, аспиранту М.В. Гагарину и студентам Е.И. Барановской, Н.М. Куриновой, А.Б. Петрашу.

1. ПРОБЛЕМЫ ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДОВ

1.1. ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В ГОРОДАХ

Города стали объектами с наиболее напряженной экологической обстановкой. Это касается прежде всего загрязнения атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв и донных отложений, радиации биотических компонентов и активизации негативных и опасных геологических процессов. При этом следует подчеркнуть, что именно гидрогеологические условия, особенности динамики и химии подземных вод определяют практически все инженерно-геологические процессы, формирование поверхностного стока большую часть года, условия произрастания растительности и многие другие важные для сложившихся в городах экосистем взаимодействия.

Негативная экологическая обстановка в городах существенно проявляется в атмосфере, литосфере и гидросфере. Основным ее индикатором является загрязнение. В атмосфере оно сказывается на атмосферном воздухе, твердых и жидких осадках и запыленности. По данным Московского департамента охраны окружающей среды, более 75% всех загрязняющих веществ в атмосферу города поставляют автомобили. Действительно, в Москве к 2010 г. число автомобилей увеличилось до 3 млн. Рост числа автомобилей характерен и для Калуги, и для других городов. Низкое качество горючего, пробки на дорогах, изъяны в контроле технического состояния транспорта — факторы, определяющие высокую токсичность выхлопных двигателей внутреннего сгорания.

Загрязнение почв значительно сказывается на ухудшении качества подземных вод. Загрязненность почв особенно заметна по микрокомпонентам (в частности, тяжелым металлам), нефтепродуктам и санитарно-гигиеническим показателям. Почвы являются типичным диспонирующим компонентом в экосистемах. Они способны накапливать большие объемы загрязняющих веществ благодаря процессам сорбции, ионного обмена и др.

Донные отложения городских рек, прудов и водохранилищ часто называют «подводными почвами». Их депонирующая способность

ничуть не меньше таковой для наземных почв. Поэтому на дне могут накапливаться наносы с содержанием ценных металлов в высоких концентрациях.

Экологическое состояние водных объектов на территории городов весьма неудовлетворительное. Это относится и к поверхностным, и к подземным водам.

Поверхностные воды, как правило, загрязнены в высокой степени неравномерно, что определяется локальным повышенным влиянием на поверхностные воды сточных вод хозяйственных предприятий. Атмосферное влияние на поверхностные воды территории городов — повсеместное.

Из подземных вод верхней гидродинамической зоны от загрязнения наиболее страдают грунтовые воды. Для них характерно региональное загрязнение, как правило небольшой интенсивности, и локальное, более сильное загрязнение.

В качестве примера можно указать на территорию г. Москвы, в пределах которой из всех загрязненных грунтовых вод лишь два родника выводят на дневную поверхность воду удовлетворительного качества (в Крылатском и Покровско-Стрешневе), воду же из остальных многочисленных родников пить не рекомендуется.

Загрязнение атмосферного воздуха, природных вод и почв мелких городов, особенно поселков, деревень, хуторов, по сравнению с крупными городами менее существенно по интенсивности и в большей степени неравномерно. Неравномерность загрязнения состоит в том, что в пределах атмосфериолитосферы имеют место загрязненные, очень слабо загрязненные и природные (незагрязненные) системы. Это объясняется тем, что в таких пунктах относительно малая численность населения, техногенных наземных объектов и транспорта. В то же время вполне вероятно повышенная интенсивность загрязнения в пределах участков аномального загрязнения, особенно загрязнения органическими компонентами. Можно констатировать, что в небольших поселениях загрязненность выглядит как более контрастное поле. Наибольшими относительными концентрациями загрязняющих веществ будут характеризоваться ближайшие окрестности машинно-тракторных станций и гаражей, мастерских, животноводческих ферм, птицефабрик, навозохранилищ и силосных хранилищ.

Техногенными источниками разного характера и свойств, главным образом, являются сточные воды и твердые отходы; последние поставляют компоненты-загрязнители через собственные внутренние процессы разложения и через атмосферные осадки, инфильтрующиеся через тела свалок и отвалов.

Примером широкого распространения жидких и твердых отходов являются наиболее крупные города. Так, в Москве они образуются в районах, прилежащих к водопроводным станциям и станциям аэрации, которые, очищая питьевые и сточные воды, продуцируют жидкие отходы с осадками загрязняющих веществ, извлеченных из этих вод. Города стоят на собственном мусоре, на твердых отходах. Только в Москве, в пределах МКАД, насчитывается 111 старых, в разной степени рекультивированных свалок бытовых, строительных и промышленных твердых отходов.

Техногенные компоненты поступают в подземные воды из разных видов источников, в основном относящихся к техногенным объектам, а также из атмосферы, гидросферы и донных осадков.

Атмосфера загрязняет подземные воды главным образом через атмосферные осадки, получающие компоненты-загрязнители из газообразных выбросов и пылеватых частиц под воздействием процессов выщелачивания, растворения, окисления и пр. При окислении атмосферные осадки приобретают кислотность, при растворении и выщелачивании — макро- и микрокомпоненты. Широко распространено региональное воздействие загрязненных осадков на подземные воды. Интенсивность негативного воздействия атмосферных осадков на подземные воды умеренная, так как:

а) их кислотные свойства, вследствие широкого распространения в зоне аэрации веществ-нейтрализаторов (для серной кислотности — карбонатов кальция, магния; для углекислой кислотности — аммиака и т.д.), практически полностью нейтрализуются на пути к подземным водам;

б) концентрация макро- и микрокомпонентов в осадках незначительная.

Поверхностные воды городов и любых других населенных пунктов загрязняются первичными загрязнителями (сточными водами и атмосферными осадками). Загрязнение поверхностными водами подземных вод может быть сезонным (в периоды половодий и паводки) вдоль долины или локальным на участках действующих колозаборов подземных вод.

Почти повсеместно в населенных пунктах загрязнены подземные воды, относящиеся к грунтовому типу, получающие компоненты-загрязнители комплексно: с атмосферными осадками, поверхностными водами, сточными водами.

Как будет показано в пп. 1.2 и 3.4, накоплению высоких концентраций органических соединений в поверхностных водах способствуют их отрицательные значения Eh, формирующиеся

вследствие обогащения «органикой» непосредственно речной воды и, особенно, донных отложений. Поступлению органо-минеральных соединений с речными водами в подземные способствуют приречные водозаборы.

Но не только загрязнение подземных вод должно рассматриваться как негативный экологический фактор. Городам свойствен процесс подтопления территории. Последствия подтопления сказываются отрицательно на всех без исключения компонентах экосистемы, в том числе и на человеке.

Изменение балансовых характеристик потоков подземных вод, смены условий и величин питания и разгрузки также экологически значимы. Эксплуатация питьевых вод, дренажи и строительное водопонижение — основные факторы смены балансовой структуры. К ним же следует отнести вертикальную планировку территории, собственно ее застройку и озеленение.

1.2. ВОЗМУЩАЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ГОРОДОВ

1.2.1. Понятие «фон» в гидрогеологии

Фоновые характеристики целесообразно рассматривать со следующих позиций [16].

1. Состояние сред:

- атмосферы (ее газового состава и состава атмосферных (дождь, снег) осадков);
- литосферы (литологического и минералого-геохимического состава пород);
- подземной гидросферы (гидрогеологического строения, включающего условия залегания, питания, движения, разгрузки и баланса подземных вод; геофильтрационные особенности, режим и состав подземных вод и пр.);
- поверхностной гидросферы (уровней, расходов, состава, температуры поверхностных вод).

2. Концентрации минеральных и органических компонентов в подземных и поверхностных водах и атмосферных осадках, величин рН, Eh.

Существуют три вида фона: 1) стандартный или природный; 2) техногенный; 3) природно-техногенный.

Стандартным (природным) фоном считаются естественные состояния сред и соответствующие им концентрации компонентов в средах — атмосферных осадках, подземных и поверхностных водах.

Природный фон можно использовать для выявления техногенных нарушений изучаемых сред, в случае если техногенные объекты возводятся в том или ином районе впервые.

Техногенный фон — это фон, сформированный в условиях значительных техногенных нарушений на территориях, в пределах которых отмечено возведение или возводится новый объект.

Природно-техногенный фон формируется в условиях относительно сильных техногенных нарушений, осуществляемых до возведения изучаемого объекта.

Природный фон — первичная основа для самого первого объекта на данной территории; природно-техногенный и техногенный — для каждого вновь организуемого на уже нарушенной территории техногенного объекта.

Уровень техногенных нарушений в первом случае отсчитывается от природного фона; во втором и третьем — от техногенного и природно-техногенного. Отсчет ведется по данному техногенному объекту от момента его возведения, начиная со стадии разведочных работ.

При изучении изменения концентраций компонентов в водах, основываясь на рассмотренных видах фона, для оценки уровня загрязнения вод используют величины предельно допустимых концентраций (ПДК) и величины, превышающие фон, но не достигшие ПДК:

- 1) выше ПДК ($C_{\text{факт}} > C_{\text{фон}} > \text{ПДК}$);
- 2) ниже ПДК ($C_{\text{факт}} > C_{\text{фон}} < \text{ПДК}$).

Как указано выше, *загрязнение подземных вод* — это явление изменения в их химическом составе, вызванное поступлением в подземные воды посторонних для данной естественной среды веществ (отходов хозяйственной деятельности человека) и приводящее к ухудшению качества подземных вод. К загрязнению нельзя относить изменения в химическом составе вод, возникающие при полезной деятельности человека (хлорировании, иодировании, фторировании и др.).

К загрязнению следует относить поступление в подземные воды загрязняющих компонентов в любых концентрациях, даже самых малых, так как само присутствие в подземных водах загрязняющих компонентов уже указывает на опасность их использования. В связи с нормами питьевого и технического водоснабжения следует различать загрязнение подземных вод в пределах норм и превышающее нормы.

Здесь уместно сделать определенные замечания. Во-первых, *качество* — понятие субъективное, не существующее без человека как

оценщика этого свойства. Но должны существовать оценки химического состава воды и для других компонентов экосистемы — для почв, растений, грибов, животных. Более современными представляются оценки, основанные на экосистемном подходе. В соответствии с ним *загрязнением* следует считать такое изменение химического состава, которое снижает устойчивость экосистемы. И как следствие, во-вторых, предельно допустимые концентрации (ПДК) должны стать в перспективе не субъективными (нацеленными исключительно на один лишь компонент экосистемы — человека), а экологически обоснованными.

Геолого-гидрогеологические предпосылки выделения зон потенциального ухудшения качества подземных вод представлены факторами, обуславливающими быстрое проявление антропогенного изменения качества подземной воды, т.е. факторами, способствующими проникновению загрязнений в подземные воды и их миграции в водоносном комплексе (горизонте). С этих позиций к геолого-гидрогеологическим предпосылкам выделения зон потенциального ухудшения качества подземных вод относятся:

1) литолого-минералогический состав отложений зоны аэрации или пород перекрывающего водоносного комплекса (горизонта), рассматриваемый с позиций оценки возможности самоочищения воды посредством сорбционных и других процессов;

2) литологический состав пород и отложений зоны аэрации или перекрывающего водоносного комплекса (горизонта), рассматриваемый с позиции оценки степени проникновения загрязненной воды в исследуемый водоносный комплекс;

3) мощность слабопроницаемых (суглинистых и глинистых) пород и отложений зоны аэрации или перекрывающего водоносного комплекса (горизонта);

4) характер движения воды, питающей рассматриваемый водоносный комплекс (горизонт); фильтрационные свойства пород, скорость и направление движения воды.

Рассматривая вопрос о мероприятиях, направленных на охрану, защиту и реабилитацию подземных вод от загрязнения, следует иметь в виду, что практически любые мероприятия способствуют уменьшению влияния на подземные воды техногенной нагрузки. Комплекс мероприятий и их характер должны предусматривать максимальное приближение к такому положению, которое бы исключало загрязнение подземных вод.

Выделяются условия формирования зон максимально возможного загрязнения. К ним относятся *условия миграции загрязнений*:

1) с поверхности земли или с поверхностными водами в пределах распространения карстовых и трещиноватых пород; в этом случае загрязнения распространяются на большие расстояния в направлении движения воды; самоочищение практически отсутствует;

2) в подземных водах крупнозернистых отложений (гравий, галечник, крупнозернистые пески); пути поступления загрязнений и водоносный комплекс (горизонт) могут быть разнообразными; загрязнения занимают значительные площади;

3) в подземных водах, развитых в отложениях террас, гидравлически связанных с речными водами; в случае загрязнения речной воды особенно большая опасность поступления загрязнений в подземные воды наблюдается при сложении террас песчано-галечниковыми отложениями.

Районы с различными геолого-гидрогеологическими условиями, попадающие в зоны потенциального ухудшения качества подземных вод, характеризуются разной степенью возможности ухудшения качества. В связи с этим предлагаются *классификации зон потенциально ухудшения качества подземных вод*:

- I – большой опасности;
- II – отчетливой опасности;
- III – умеренной опасности;
- IV – небольшой опасности;
- V – безопасные.

Возможны и другие классификационные градации. В частности, в англоязычной гидрогеологической литературе широко используется понятие «уязвимость» (*vulnerability*).

1.2.2. Общие сведения об источниках загрязнения и компонентах-загрязнителях подземных вод

Из подземных вод, формирующихся в техногенных условиях, широко распространены воды загрязнения. Загрязнение вод разнообразно по составу и фазовому состоянию. Газообразное загрязнение — региональное; жидкое и твердое — локальное. Наиболее существенно загрязнение природных вод химическими и органическими веществами. Часто оно сопровождается бактериальным и тепловым эффектами. Бактериальное заражение вод вследствие ограниченного срока жизнедеятельности бактерий приурочено непосредственно к местоположению источника загрязнения [14, 16].

На планете наиболее распространено загрязнение подземных вод, связанное с производственной и сельскохозяйственной деятельностью человека и с его бытом. В соответствии с этим выделяются

три типа загрязнения подземных вод. Каждому типу загрязнений свойствен специфический набор компонентов-загрязнителей. Любая нагрузка на природное состояние атмогидролитосферы, вызывающая загрязнение подземных вод, имеет антропогенное происхождение. Виды антропогенной нагрузки определяют конкретный набор их фазового состояния.

Объекты, формирующие компоненты-загрязнители, относятся к *первичным* их источникам. Они представлены сточными водами, твердыми и газообразными отходами, рассредоточенными в воздухе атмосферы. Широкое распространение имеют *вторичные* источники загрязнения, представленные подземными водами грунтового типа, поверхностными водами и атмосферными осадками.

Грунтовые воды характеризуются региональным и локальным загрязнением, формирующимся под влиянием первичных источников. В большинстве случаев породы зоны аэрации проницаемы, что обуславливает существенное загрязнение грунтовых вод. Нисходящий характер фильтрации грунтовых вод определяет их проникновение в нижерасположенные, часто используемые для водоснабжения водоносные комплексы. Наиболее значимо загрязнение вод эксплуатируемых водоносных комплексов на участках водозаборов.

Поверхностные воды действуют в качестве источников загрязнения подземных вод в периоды половодий и паводков, а на воды подрусловых потоков — постоянно. Наиболее опасны грязные реки в местах «гидрогеологических окон», где нисходящее перетекание из них загрязняет межпластовые водоносные горизонты. Это особенно отчетливо видно в городах, эксплуатирующих межпластовые подземные воды.

Атмосферные осадки обуславливают региональное загрязнение подземных вод.

Населенные пункты, особенно городского типа, характеризуются комплексным проявлением источников загрязнения. Они могут быть первичными и вторичными. Их виды определяются характером техногенных нагрузок и природных факторов. При этом для городов характерен конкретный набор загрязнителей городского типа, в котором обязательны Cl, Na, органические и органо-минеральные соединения.

Отходы промышленных предприятий. По сочетанию компонентов-загрязнителей близкого состава их целесообразно разделить на пять групп.

В *первую группу* входят отходы, содержащие преимущественно неорганические вещества со специфическими свойствами. Это:

а) сточные воды химической промышленности, переработки неорганического сырья (содовые, сернокислотные, азотно-туковые заводы); б) сточные воды предприятий черной и цветной металлургии, машиностроительной и металлообрабатывающей отраслей, фабрик обогащения черных и цветных металлов.

Компоненты-загрязнители представлены преимущественно Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Na^+ , Ca^{2+} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ с высокой концентрацией Fe^{2+} , F^- , Zn^{2+} , As^{3+} , Mn^{4+} , Mo^{4+} , Ti^{4+} , W^{2+} , Hg^{2+} , Al^{3+} , Cd^{2+} , PO_4^{3-} , а также цианидов, сульфидов, роданидов, дитиофосфатов, аминов, анилина, пиридина, формальдегида, бензола в незначительных концентрациях, но обладающих существенной токсичностью.

Вторую группу составляют отходы с ограниченным числом загрязнителей, содержащих главным образом неорганические вещества. Сюда входят слабоминерализованные стоки горнодобывающих, углеобогащительных, некоторых рудообогащительных предприятий (например, марганцевых руд). Компоненты-загрязнители: Br^- , I^- , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} .

К *третьей группе* относятся отходы, содержащие органические вещества сложного состава. Это сточные воды химических (органический синтез), коксохимических, газосланцевых, нефтеперерабатывающих, нефтехимических, целлюлозно-бумажных и других предприятий. Специфическими в них являются красители, смолы, фенолы, тетраэтилсвинец, дихлорэтан, синтетические жирные кислоты и спирты, нефтепродукты, ароматические углеводороды и др., а также SO_4^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, Cl^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , Na^+ , Ca^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , H_2S и другие сульфиды.

В *четвертую группу* включаются отходы с минеральными и органическими компонентами-загрязнителями, формирующиеся при дрожжевых, картофелекрахмальных, сахарных, пивоваренных производствах, скотобойнях и др. Загрязнители представлены HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , NH_4^+ , NO_2^- , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{4+} , H_2S , жирными кислотами, альдегидами, алкоголем. Часто загрязненная отходами данной группы подземная вода приобретает повышенную суммарную минерализацию, в ряде случаев значительно увеличивается ее жесткость.

Пятую группу составляют радиоактивные отходы. Наиболее опасны для подземных вод загрязнения изотопами, характеризующимися следующими периодами полураспада: ^{90}Sr — 28,7 лет; ^{137}Cs — 30,0 лет; ^{134}Cs — 2,05 года; ^{144}Cs — 28 дней; ^{103}Ru — 39,5 дня; ^{106}Ru — 368 дней; ^{60}Co — 6,26 лет; ^{131}I — 8,05 дня; ^{35}S — 87,1 дня.

Понятно, что большую опасность представляют долгоживущие изотопы стронция и цезия.

Бытовые отходы. Характеризуются повышенными концентрациями Cl^- , NH_3 , NH_4^+ , H_2S , органических кислот, альдегидов, алкоголя, микроэлементов В, Сd, Hg, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Na; также в них присутствуют бензолы, масла, бензин, керосин и др.

Для всех бытовых отходов характерны повышенные концентрации нейтральных и патогенных микроорганизмов. Последние создают бактериальное загрязнение, вследствие которого в подземных водах могут распространяться вирусы и болезнетворные бактерии. Эти загрязнения чрезвычайно опасны, так как способны вызывать серьезные заболевания. Бытовые отходы, как и промышленные, по фазовому состоянию могут быть твердыми, жидкими и газообразными.

Твердые бытовые отходы являются главными компонентами отвалов, мусорных городских и других свалок. В определенных условиях серьезное загрязнение возможно в районах кладбищ. На отвалах и мусорных свалках содержатся городские отходы, макулатура, упаковка разных видов (бумажная, пластиковая, стеклянная, деревянная, металлическая), отходы в виде пепла, шлака и т.д. Существует довольно много возможных путей загрязнения подземных вод за счет твердых отходов, например аварийные ситуации (рассыпание отходов при транспортировке, плохом хранении и т.д.).

При загрязнении подземных вод твердыми отходами характер загрязнения часто определяется степенью и особенностями разложения отходов. Около 50% всех твердых отходов минерализуется. Разложение твердых отходов происходит как непосредственно в телах отвалов и свалок, так и в окружающей их среде, характер разложения и продукты разложения зависят от окислительно-восстановительных условий. В окислительных условиях разложение отходов протекает быстрее и в значительном числе случаев доходит до продуцирования тепла, воды и газов: CH_4 и CO_2 и простых минеральных компонентов. Подземные воды обогащаются Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Fe, Mn и другими микрокомпонентами; повышается суммарная минерализация подземных вод, воды становятся жесткими. В воду могут попадать специфические субстанции, например селен. В воде появляется большое число аэробных бактерий. Разложение твердых бытовых отходов в окислительных условиях может вызвать повышение температуры среды, иногда значительное (до 80–100 °С).

В восстановительных условиях разложение твердых бытовых отходов, как правило, не доходит до конца и подземные воды обогащаются промежуточными продуктами разложения. Это масла, алко-голи, альдегиды, жирные кислоты, CO_2 , H^+ , H_2S , S , NH_3 , NH_2 , сульфиды, N_2 , NO_2 , NH_4^+ , Fe_2^+ и другие микрокомпоненты. Подземные воды обогащаются микроорганизмами (дрожжевыми, грибковыми и др.). Жидкий компонент свалок называется «фильтрат».

Жидкие бытовые отходы (коммунальные) по набору и характеру компонентов в значительной степени сходны с твердыми. Различие заключается в меньших количествах кальция и магния, что не способствует при загрязнении ими подземных вод формированию жесткости. Широко распространены жидкие бытовые отходы, носящие линейный характер и имеющие место, главным образом, в населенных пунктах городского типа. В геохимическом отношении они составляют две группы. Первая представлена нефтью, бензином, маслами, керосином и другими отходами транспортного хозяйства. Вторая группа линейных загрязнений представлена хлористым натрием, попадающим в подземную воду вследствие использования соли в борьбе с гололедом.

Помимо населенных пунктов, загрязнение подземных вод горючими веществами, маслами и хорошо растворимыми солями можно ожидать на значительной части автодорожных трасс.

Газообразные отходы. Образуются главным образом при сгорании угля, бензина и других горючих веществ. Они могут переноситься ветром на значительные расстояния от мест загрязнения. Широко распространяются в подземных водах HSO_4^- и H_2SO_4 , образующиеся в атмосфере за счет окисления оксидов серы. Подземные воды, загрязненные HSO_4^- и H_2SO_4 , становятся более кислыми. Кислые воды выщелачивают из почв кальций, фосфор, калий, железо, алюминий и многие другие элементы.

Сельскохозяйственные отходы. Загрязнение сельскохозяйственными отходами может быть региональным и локальным.

Региональное загрязнение часто занимает большие площади. Оно связано, главным образом, с использованием в сельскохозяйственной практике удобрений, а также препаратов для опыления растений, в том числе лесов от вредителей.

Минеральные удобрения классифицируются по составу: а) на азотные; б) фосфорные; в) калийные (есть смешанные). Все они содержат добавки макрокомпонентов (магния, кальция и др.) и микрокомпонентов (бора, железа, марганца и др.).

В целом компоненты-загрязнители от минеральных удобрений — азот, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , NO_3^- , HCO_3^- , PO_4^{3-} и ряд микрокомпонентов.

При загрязнении от калийных удобрений, представленных хорошо растворимым хлористым калием, в подземных водах значительно возрастает концентрация хлоридов и суммарная минерализация; загрязнение азотными удобрениями приводит к формированию аммиачных и нитратных вод.

Органические удобрения способствуют формированию в подземных водах повышенных концентраций углекислоты, которая при наличии известковистых почв вызывает их углекислотное выщелачивание. Последнее обуславливает появление в подземных водах повышенных концентраций гидрокарбонат-иона и кальция; воды могут приобретать жесткость.

Препаратов для защиты растений существует большое разнообразие — около 60 тыс. видов. Они делятся, в общем, на три группы относительно токсичности. В первую группу входят яды, во вторую — препараты, вредные для здоровья человека, в третью — не вредные для его здоровья. Из вредных широко распространены пестициды, гербициды, инсектициды и др.; гексахлоран, альдрин и др. Изменяются физические свойства подземных вод — они приобретают пенистость, неприятные вкус и запах.

Локальное загрязнение подземных вод связано:

1) с плохими условиями хранения минеральных удобрений, препаратов для защиты растений и др.; потерями их при транспортировке; хранением удобрений и препаратов в подземных хранилищах в сроки, более продолжительные относительно норм;

2) наличием птицефабрик, птицеферм, животноводческих комплексов;

3) наличием хуторов с коровниками, конюшнями, овчарнями и др.

Все локальные загрязнения способствуют повышению концентрации в подземных водах Cl^- , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ ; может повышаться суммарная минерализация вод, достигая значительных величин. Загрязнения могут охватывать значительные площади.

Сравнительный анализ состава загрязнителей промышленных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых отходов позволяет выделить компоненты-загрязнители глобального распространения, но загрязняющие подземные воды в различной степени. Это макро-

компоненты HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , азотные соединения, нефти, нефтепродукты и многие микрокомпоненты.

Из большого числа микрокомпонентов по стабильности присутствия в жидких, твердых, газообразных фазах, и по присутствию в значимых концентрациях выделяются следующие группы:

- стабильно присутствующие *в подавляющем большинстве случаев*: Hg, Cu, Cr, Pb, B;
- присутствующие *во многих случаях*: Ba, Sr, As, Fe, Co, Li, F;
- приуроченные *к отдельным видам* отходов: электротехнической промышленности — Be, Co, Mo, Ni, Ti, V, W, Zn; металлургической промышленности — Mn, Co, Ni, Sn, Zn, Be; фосфорных удобрений — P, Zn и т.д.

Среди органических загрязнителей наиболее распространены фенолы, нафтены, ПАВ, гуминовые и фульвокислоты, образующие с минеральными макро- и микрокомпонентами комплексные соединения, нередко с повышенной растворимостью, что способствует обширному площадному загрязнению.

Атмосфера занимает особое положение среди источников загрязнения. Основные составляющие *загрязнений атмосферы* — соединения серы, азота, углерода, микрокомпоненты. Незначительная часть компонентов-загрязнителей сохраняется в атмосфере в форме пылеватых частиц, которые оседают на поверхности земли. Распространенными являются оседания SO_2 , SO_3 , HSO_3^- , HSO_4^- , SO_4^{2-} с пылеватыми частицами и аэрозолями.

Большая часть компонентов-загрязнителей достигает поверхности земли с атмосферными осадками. Макрокомпонентный состав атмосферных осадков в основном соответствует природному фону: как правило, гидрокарбонатный кальциево-магниевый.

Содержание NH_4^+ в атмосферных осадках нефтегазовых регионов — от десятых долей до первых единиц миллиграммов на литр. Аммоний-ион окисляется быстро через NO_2^- до NO_3^- . Суммарное содержание всех форм азотных соединений в атмосферных осадках практически не превышает первых единиц мг/дм^3 .

Многочисленные *микрокомпоненты* в техногенных условиях присутствуют в атмосфере в формах: MeS ; MeSO_4 ; MeO_4 ; Me^{2+} ; MeO_2 (где Me = Mn, Zn и др.). Диапазон их концентраций в общем виде $0,001 \mu\text{—}0,0001 \mu$.

Микрокомпоненты постоянного присутствия в повышенных концентрациях — P, B, Li, Sr, Mn, Cu, Hg, Cd; эпизодического присутствия в низких концентрациях — Co, Bi, Ni, Ti, Be, V.

В твердых промышленных отходах присутствует значительное число микрокомпонентов (медь, никель, свинец, цинк, молибден, кобальт, железо, марганец и др.), азотные соединения, фосфаты, фенолы, цианиды и др.

Нефтепродукты включают углеводородную фракцию (алифатические, ароматические, ациклические), составляющую 70–90% от веществ нефти и продуктов ее переработки, содержат многие микрокомпоненты, а также обладают токсичным и даже наркотическим действием на организмы, поражая сердечно-сосудистую и нервную системы. Наиболее опасны полициклические конденсированные углеводороды (бенз(*a*)пирен и др.), обладающие канцерогенными свойствами. ПДК нефтепродуктов в водах хозяйственно-питьевого пользования 0,3 мг/дм³, в водах рыбохозяйственных водоемов — 0,06 мг/дм³.

Органические вещества в стоках представлены в значительной части кислыми соединениями — низкомолекулярными жирными кислотами и др.; фенолами, углеводородами, битумами. Особую опасность представляют фенолы и другие органические соединения, обладающие высокой миграционной способностью. В стоках присутствуют комплексные соединения органических веществ с сульфатами, нитратами, хлоридами, натрием. Многие из них устойчивы.

1.2.3. Сведения об источниках загрязнения и компонентах-загрязнителях городского типа

Населенные пункты, особенно городского типа, характеризуются комплексным проявлением источников загрязнения. Они могут быть первичными и вторичными. Их виды, определяемые с общепринятых позиций, зависят от техногенных нагрузок и природных факторов, в то же время характеризуются конкретным набором загрязнителей городского типа, в котором, как правило, присутствуют Cl^- , Na^+ , органические и органо-минеральные соединения, и широким распространением восстановительных условий.

Особенности загрязнения подземных вод в городских условиях определяют:

а) общность состава компонентов-загрязнителей, соответствующего конкретным источникам загрязнения, исследуемым для водных сред, пород, атмосферных осадков. Отклонения от этого положения являются следствием трансформации компонентов-загрязнителей при их миграции от источников загрязнения к подземным водам;

б) региональный и локальный характеры распространения загрязнений, устанавливающиеся в зависимости от территориального

положения источников загрязнения, но вне зависимости от фазового состояния и состава загрязнителей, а также приуроченности к средам атмосферы;

в) обязательность присутствия среди компонентов-загрязнителей органических соединений, обладающих значительной токсичностью и способствующих загрязнению вод серой, азотом и многими микрокомпонентами, входящими в молекулярную структуру органических соединений. «Органика», кроме этого, обуславливает формирование восстановительных обстановок, вызывающих изменение миграционных форм, тем самым изменяя токсичность отдельных компонентов, и формирование органо-минеральных соединений, обладающих устойчивым содержанием в водах;

г) своеобразии распределения компонентов-загрязнителей в атмосфере, заключающееся:

- в меньших их концентрациях по сравнению с концентрациями в стоках и других источниках загрязнения;
- в постоянном преобладании в атмосфере NO_x , SO_2 , SO_3 , CO и CO_2 над другими компонентами-загрязнителями;
- в более широком площадном распространении атмосферных загрязнений по сравнению с другими загрязнениями;

д) интенсификация загрязнения подземных вод на участках водозаборов под воздействием фактора водоотбора.

При установлении источников загрязнения и компонентов-загрязнителей подземных вод территории города осуществляется типизация техногенных нагрузок:

а) по принадлежности к видам техногенной нагрузки — промышленным, сельскохозяйственным и коммунально-бытовым объектам;

б) исходя из фазового состояния техногенных нагрузок — газообразные, жидкие, твердые;

в) по условиям развития техногенеза, таким как эксплуатация подземных вод для водоснабжения, разработка полезных ископаемых, жилые городские зоны, участки нефтебаз, участки полигонов газохранилищ и др.

При подборе гидрогеохимических и сопутствующих им данных учитывается:

а) принадлежность к водным объектам: подземным, поверхностным водам, атмосферным осадкам;

б) соотнесение к почвам и породам, к приповерхностному слою на глубине 0,5–0,7 м, наиболее подверженному техногенному влиянию;

в) средство с техногенными объектами: сточными водами промышленности и коммунально-бытовыми стоками, сельскохозяйственными стоками с птицеферм, животноводческих комплексов и пр.

Комплекс объектов техногенного влияния представлен: а) многочисленными объектами разнообразных видов промышленности; б) нефтебазами; в) полигонами подземного хранилища газа; г) водозаборами с региональными и локальными воронками депрессии в различных водоносных горизонтах; д) объектами сильно развитого коммунально-бытового сектора и пр.

При выборе природно-техногенных объектов для исследования учитывается целый ряд характеристических особенностей строения территории и основных источников негативного влияния на химический состав и качество подземных вод. В связи с этим исследуются участки размещения объектов:

- пищевой, бумажной, стекольной промышленности; ТЭЦ; металлургической промышленности и др.;
- нефтебаз; хранилищ газа; разработки торфяников, карьеров разработки глин, песков и др.;
- водозаборов;
- распространения подземных вод на территориях, наиболее подверженных техногенному влиянию;
- интенсивного проявления сточных вод.

По состоянию и условиям присутствия в городских условиях источники загрязнения и компоненты-загрязнители образуют две группы.

В первую группу входят источники и компоненты-загрязнители, обязательно присутствующие в любом городе независимо от его географического положения, геолого-гидрогеологической обстановки, численности населения. К ним относятся:

а) атмосферные осадки и сухие выпадения из атмосферы (CO_2 , SO_2 , SO_3 и пр.); основные компоненты-загрязнители, кислотность, определяемая величиной рН, микрокомпоненты, органические компоненты;

б) пищевая промышленность и связанные с ней вспомогательные производства. Основные загрязнители — органические вещества и присутствующие в них соединения азота, серы, фосфора, кальция и многих органогенных микрокомпонентов;

в) парковые зоны. Основные загрязнители подобны загрязнителям пункта «б»; дополняют их химикаты, используемые для защиты растений от насекомых, удобрения;

г) коммунально-бытовые отходы. Компоненты-загрязнители — органические вещества, включающие азотные, серные и микрокомпоненты; хлор, натрий;

д) автозаправочные станции, хранилища нефтепродуктов. Основные загрязнители — углеводородные, азотные, серные и микрокомпоненты.

Вторую группу образуют источники загрязнения и компоненты-загрязнители, дополняющие «обязательные». Наиболее распространенными в этой группе являются промышленные объекты, которые в каждом конкретном городе характеризуются своеобразным набором технологических циклов.

Отдельные виды промышленности усиливают загрязнение «обязательными» компонентами. Например, целлюлозная, нефтеперерабатывающая — усиливают загрязнение подземных вод органическими веществами; металлургическая — микрокомпонентами и т.д. Территориально выборочное распространение имеют отрасли промышленности, например, связанные с содовым производством, производством кислот, машиностроением, переработкой различных полезных ископаемых (торф, строительные глины и пр.) и др.

Как обязательные, так и дополнительные источники загрязнения и компоненты-загрязнители подземных вод городов действуют в групповом и нижерасположенных водоносных комплексах, являясь практически на территории любого города взаимосвязанными с понятием «грунтовые воды — источник загрязнения вод ниже расположенных водоносных комплексов».

Наиболее распространенными компонентами-загрязнителями подземных вод городов регионального характера являются:

- компоненты коммунально-бытовых отходов (твердых и стоков) — $C_{орг}$, Ca, Na, Cl, N, S, B, Ba, F, Sr, Cu, Mn, Ni, Zn, Pb, Sn;
- отходов пищевой промышленности (твердых и стоков) — $C_{орг}$, Na, Cl, спирты, альдегиды, кислоты, микрокомпоненты;
- автозаправочных станций, хранилищ нефтепродуктов — $C_{орг}$, Ca, Cl, Na, CH_4 , фенолы, B, I, Sr, Li, Cr, Cu, Fe, Zn, Mn, Ni, Pb, Hg, разнообразные углеводороды, NH_4^+ ;
- автомобильных магистралей — газообразные: SO_2 , SO_3 , CO_2 ; Na, Cl и специфические средства для посыпания дорог;
- атмосферных осадков — кислоты (серная, угольная и др.), микрокомпоненты.

При локальном загрязнении наиболее распространены компоненты-загрязнители, представленные наряду с макрокомпонентами большим разнообразием микрокомпонентов:

- а) в промышленности:
- чугунолитейной, механической, приборостроения и др.: Sr, Ba, Be, Cr, F, Cd, Fe, Mn, Co, Cu, Hg, Ni, Nb, Zn;
 - целлюлозно-бумажной, мебельной, льнопрядильной: $C_{орг}$, S, N, P, Cd, Ba, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn;
 - стекольной, цементной, керамической: Na, Cl, S, F, Sr, B, Ba, Cr, Ni, Cu, Co, Pb;
- б) при торфоразработках: $C_{орг}$, Na, Cl, S, N, P, Cd, B, I, Br;
- в) в животноводстве: $C_{орг}$, Na, Cl, S, Hg, As, P, Ba, F, Cr, Cd, Mn, Fe, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn;
- г) в парковых зонах: K, Na, N, P, Ca, $C_{орг}$, As, B, Ba, Sr, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn.

1.2.4. Нормативно-методические документы по оценке качества подземных вод

Эти документы являются обоснованием осуществления государственного контроля за использованием вод в хозяйственно-питьевых целях и их охраной с позиций качества. В основу контроля за качеством вод положены Государственные стандарты (ГОСТ) и санитарные правила и нормы (СанПиН), разрабатываемые Минздравсоцразвития и Роспотребнадзором России.

В ГОСТ приводятся: терминология (ГОСТ 17.1.1.01–77 и т.п.); перечень основных источников загрязнения вод, требования к качеству вод, правила отбора проб (ГОСТ 2761–84, Р51592–2000 и т.п.); требования к качеству и отбору питьевой воды и вод хозяйственно-питьевого назначения (ГОСТ 51593–2000, 24902–81, 24849–81 и т.п.). Основным документом, определяющим в настоящее время нормы качества питьевой воды, — СанПиН 2.1.4.10749–01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Имеется ряд стандартов по методикам анализа некоторых отдельных показателей качества воды.

В нормативных документах обращено основное внимание на требования к качеству вод централизованного водоснабжения; имеются документы с требованиями к качеству вод нецентрализованного водоснабжения, хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования и к качеству вод с биологических и микробиологических позиций.

Международные стандарты качества вод принадлежат Международной организации по стандартизации (ИСО), Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и Совету Европейского Союза (ЕС);

и в них основная организация по нормированию качества воды — ВОЗ. Национальные стандарты качества питьевой воды разработаны в США, Японии, Германии, Англии, Франции и др. (табл. 1.1).

Таблица 1.1

**Максимально допустимые концентрации макрокомпонентов
в питьевой воде**

Показатель	Единица измерения	ВОЗ	США	ЕС	Россия
Общая минерализация	мг/дм ³	1000	500	1000	1000
Общая жесткость	мг-экв/дм ³	–	–	–	7,0 (10)*
Хлориды (Cl ⁻)	мг/дм ³	250	250	250	350
Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	мг/дм ³	250	250	250	500
Кальций	мг/дм ³	–	–	200**	–
Магний	мг/дм ³	–	–	50**	–
Натрий	мг/дм ³	200	–	200	200

* Наличие, указанная в скобках, может быть установлена Главным государственным санитарным врачом по соответствующей территории для конкретной системы водоснабжения.

** Данные приведены только в директиве 80/778/ЕС.

Требования к качеству питьевых подземных вод в основном заключаются в том, чтобы вода была безвредной для организма и отличалась неухудшенным вкусом, запахом, цветом и другими свойствами. Гигиенические критерии качества воды — ПДК, нормы которых устанавливаются по органолептическим и санитарно-токсикологическим показателям.

В ряде нормативных пределов допустимых параметров воды используются величины максимальных с позиций безвредности для человека концентраций компонентов-загрязнителей, а также термодинамических, окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условий, изменяющих концентрации компонентов.

В табл. 1.2 приведены основные параметры качества воды, используемой для централизованного водоснабжения, связанные с микрокомпонентами, нормируемые в России и за рубежом (предельно допустимые концентрации).

1.2.5. Требования к качеству подземных вод хозяйственно-питьевого назначения

Требования к качеству подземных вод хозяйственно-питьевого назначения характеризуются по минерализации, макро- и микрокомпонентам, жесткости, агрессивности.

**Предельно допустимые концентрации микроэлементов
 в питьевой воде, г/дм³**

Элемент	ВОЗ	США	ЕС	Россия
Алюминий, Al	0,5	0,2	0,2	0,2
Барий, Ba	0,1	2,0	0,5	0,7
Бериллий, Be	–	0,004	–	0,0002
Бор, B	0,3	–	0,001	0,5
Бром, Br	–	0,01	0,01	0,2
Ванадий, V	–	–	–	0,1
Висмут, Bi	–	–	–	0,1
Вольфрам, W	–	–	–	0,05
Железо, Fe	0,3	0,3	0,2	0,3
Кадмий, Cd	0,003	0,005	0,005	0,001
Калий, K	–	–	12	–
Кобальт, Co	–	–	–	0,1
Кремний, Si	–	–	–	10
Литий, Li	–	–	–	0,03
Марганец, Mn	0,1	0,05	0,05	0,1
Медь, Cu	1,0	1,3	2,0	1,0
Молибден, Mo	0,07	–	–	0,25
Мышьяк, As	0,01	0,01	0,01	0,01
Никель, Ni	0,02	–	0,02	0,02
Ниобий, Nb	–	–	–	0,01
Ртуть, Hg	0,001	0,002	0,001	0,0005
Рубидий, Rb	–	–	–	0,1
Свинец, Pb	0,01	0,015	0,01	0,01
Селен, Se	0,01	0,05	0,01	0,01
Серебро, Ag	–	0,1	0,01	0,05
Стронций, Sr	–	–	–	7
Сурьма, Sb	0,005	0,006	0,005	0,05
Таллий, Tl	–	0,002	–	0,0001
Теллур, Te	–	–	–	0,01
Титан, Ti	–	–	–	0,1
Фтор, F	1,5	2,0	1,5	1,5
Хром, Cr	0,05	0,1	0,05	0,05
Цинк, Zn	3,0	5,0	5,0	1,0

Общераспространенная норма *минерализации подземных вод*, действовавшая для хозяйственно-питьевого снабжения, — 1 г/дм³. Для районов с дефицитом таких вод допускается использование подземных вод с минерализацией до 1,5–3,0 г/дм³.

Их макрокомпонентов нормируется по ПДК содержание в подземных водах сульфата (до 500 мг/дм^3), хлорида (до 350 мг/дм^3), нитрата (до 200 мг/дм^3). Их аномальные содержания для пресных подземных вод возможны при минерализации, приближающейся к 1 г/дм^3 .

Подземные воды с превышением ПДК формируются: а) по сульфату — при растворении гипсов и ангидритов; при окислении сульфидов и сернокислотном выщелачивании карбонатных пород и др.; б) по хлоридам, натрию — при взаимодействии с терригенными породами морского генезиса, обогащенными ионно-солевым комплексом, представленным рассеянными изоморфно сформированными хлоридами натрия.

Нормы содержания в подземных водах микрокомпонентов в документах Российской Федерации близки к стандартам европейского и международного уровня.

Для подземных вод верхней гидродинамической зоны наиболее характерны аномально повышенные концентрации железа, стронция, фтора и некоторых других тяжелых металлов. Минимальные концентрации микрокомпонентов, как правило, тяготеют к областям инфильтрационного питания, максимальные — к областям разгрузки.

ПДК по железу для питьевых вод составляют $0,3 \text{ мг/дм}^3$, для вод технического использования — до $0,5 \text{ мг/дм}^3$. Воды верхней гидродинамической зоны с содержанием железа $\approx 0,3 \text{ мг/дм}^3$ широко распространены в областях с интенсивным водообменом и в районах, сложенных песчано-глинистыми отложениями с сульфидной минерализацией. Воды с концентрацией железа $0,3\text{--}0,5 \text{ мг/дм}^3$ (редко — до 1 мг/дм^3), формируются при окислении сульфидов. Воды с содержанием железа более $0,5\text{--}1,0 \text{ мг/дм}^3$ (до первых десятков мг/дм^3) формируются в восстановительных условиях вследствие высокой растворимости соединений, в которых железо присутствует в восстановленных формах.

Воды с повышенными концентрациями стронция (до $7,0 \text{ мг/дм}^3$ и более) имеют отношение к породам, обогащенным минералами стронцианитом (SrCO_3) и целестином (SrSO_4). В водах, тяготеющих к песчано-глинистым породам, содержание стронция — от тысячных до десятых, редко — до первых единиц мг/дм^3 .

Жесткость фиксируется по содержанию в водах кальция и магния; ПДК по жесткости составляет 6 мг-экв/дм^3 для питьевого водоснабжения и 7 мг-экв/дм^3 — для хозяйственного. В зависимости от анионного состава жесткость вод может быть карбонатной с не-

значительными величинами (6–15 мг-экв/дм³) и *сульфатной*, характеризующейся существенными величинами (более 15 мг-экв/дм³). Общей закономерностью для жестких вод является увеличение степени жесткости в направлении фильтрационного потока.

Наиболее распространенные *виды агрессивности* подземных вод: карбонатная, уголекислотная, общекислотная, сульфатная. ПДК, характеризующие каждый из видов агрессивности, установлены для разных сортов бетона и железобетона.

Карбонатная агрессивность определяется содержанием в подземных водах карбонатных ионов. ПДК пуццолановых бетонов 0,54 мг/дм³; шлакового портландцемента — 1,07; портландцементных — 2,14.

Уголекислотная агрессивность вод определяется содержанием в них свободной уголекислоты, повышенные количества которой (более 15 мг/дм³) способствуют выщелачиванию бетона.

Общекислотная агрессивность оценивается по величине рН; воды агрессивны с низкими значениями (кислыми) рН.

Сульфатная агрессивность имеет двойкий характер: а) при концентрациях сульфата в водах, меньших по сравнению с термодинамической растворимостью, агрессивность оценивается по сульфату кальция; б) при значительных концентрациях сульфата в водах — по серной кислоте, вызывающей сернокислотное выщелачивание оснований сооружений.

1.3. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИЩЕННОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ТЕХНОГЕННЫХ НАГРУЗОК В УСЛОВИЯХ ГОРОДОВ

1.3.1. Общая защищенность подземных вод

Подход к оценке защищенности подземных вод должен учитывать различия в методике такой оценки применительно к грунтовым (первым от поверхности водоносным горизонтам) и к межпластовым (артезианским) водам. Вторым принципиальным моментом в оценке защищенности становится масштаб исследований (изысканий). Первые методики (Гольдберг, Роговская и др.) разработаны под региональную оценку вод — для масштабов около 1:200 000. Этот масштаб не позволяет увидеть детали размером менее 1–0,5 км, т.е. может использоваться на самых первых, предынвестиционных оценках условий землепользования, например для составления генпланов городов, генсхем развития промышленности или сельского хозяйства. Существенно более необходимыми для практических

целей проектирования и строительства стали оценки защищенности в крупном масштабе — 1:25 000 и крупнее. Здесь уже можно учесть как естественную фильтрационную неоднородность грунтовых толщ зоны аэрации (с точностью до 50 м в плане), так и наличие площадных и линейных источников загрязнения. Однако и эти масштабы могут удовлетворить проекты строительства инженерных сооружений только на предпроектной стадии, при сравнении вариантов размещения площадок или прокладки трасс линейных сооружений [14].

Гораздо более востребованной именно для городской территории является оценка загрязнения в детальных масштабах, отвечающих проектной стадии. Это масштабы 1:10 000 и крупнее. В одном сантиметре карты — 100 м, поэтому на ней можно точно показать местоположение каждого строения, каждого выпуска в реку, каждой свалки, дороги и прочих элементов городской инфраструктуры. В этих масштабах неоднородность геологического строения может быть показана с точностью и детальностью, отвечающими кондиционным изыскательским материалам; состояние поверхности может быть охарактеризовано со всеми важнейшими характеристиками: уклонами, распаханностью и изрытостью, асфальтированностью и пр.; могут быть показаны все подземные водонесущие коммуникации: водопровод, трассы дождевой, промышленной и хозяйственной канализации, очистные сооружения, отстойники, шламо- и хвостохранилища, выпуски и др. Более того, на таких картах (или в виде сносок к ним) могут быть даны необходимые обоснования достоверности сделанных оценок защищенности, показаны поля распространения основных специфических или неспецифических компонентов-загрязнителей, построены гидрогеохимические карты. Гидрогеохимический аспект оценки защищенности приобретает в ряде случаев решающее значение.

Оценка защищенности грунтовых вод (основные показатели)

Состояние поверхности. Защищенность грунтовых вод снижается в такой последовательности: асфальт, застройка, газон, пашня, изрытость (пустыри).

Наличие подземных водонесущих коммуникаций. Защищенность грунтовых вод снижается в такой последовательности: водопроводы и теплотрассы, промканализация, хозяйственная и дождевая канализационные трассы. Утечки из них постоянны во времени, и пространственно распределены по территории неравномерно.

Уклон поверхности. Защищенность грунтовых вод снижается от уклонов поверхности земли в 30° , где инфильтрация близка к нулю, до горизонтальной поверхности, где инфильтрация близка к 10–15% от среднегодовой нормы осадков, что проверяется по карте многолетнего подземного стока, составленной Б.И. Куделиным и др. В частности, территория г. Москвы характеризуется величиной инфильтрационного питания около $2 \text{ дм}^3/\text{с}/\text{км}^2$.

Строение зоны аэрации. Защищенность грунтовых вод снижается в такой последовательности: глина, моренный суглинок, покровный суглинок, супеси, лессовидный суглинок, пески, техногенные грунты. Оценку защищенности нужно осуществлять исходя из наличия в конкретном разрезе наименее проницаемого прослоя в толще пород зоны аэрации.

Наличие инженерных сооружений. Здесь не удастся выстроить последовательность, но понятно, что наличие карьеров, котлованов, канав, руин, различных отстойников, полей фильтрации, свалок и полигонов, кладбищ и пр. существенно снижает защищенность грунтовых вод, порой до нуля. В то же время наличие экранов и дренажей у отстойников повышает оценку защищенности.

Петрографическая характеристика глинистых грунтов. Наличие в толще глин и суглинков монтмориллонита, каолинита и других заметно набухающих минералов повышает защищенность.

Характеристики загрязняющих жидкостей. Глинистые породы и экраны из них могут повышать свою проницаемость на два порядка и, следовательно, терять свои изолирующие свойства при фильтрации минерализованных, кислых или щелочных жидкостей (стоков).

Коэффициенты фильтрации пород зоны аэрации. Понятно, что чем выше величины коэффициентов фильтрации пород (наименее проницаемых), тем защищенность ниже. Здесь необходимо иметь в виду, что определение коэффициента фильтрации нужно проводить в вертикальном направлении и по той жидкости, которая, по наибольшей вероятности, будет сквозь эту породу фильтроваться.

Оценка защищенности межпластовых вод (на примере г. Москвы)

Москва расположена в центре региональной области депрессии напоров всех артезианских горизонтов с пресной водой. Здесь горизонты верхнего, среднего и нижнего карбона зачастую уже не имеют избыточного напора над кровлей и потеряли право называться артезианскими. На всей территории города и его пригородов напоры в кар-

Помимо ниже напоров грунтовых вод и урззов рек. Эта инверсия напоров повсеместно привела к нисходящей фильтрации. Наиболее интенсивно нисходящее перетекание формируется в области древних ложбин стока и речных долин — в так называемых гидрогеологических окнах. Например, когда хорошо проницаемые аллювиальные отложения лежат непосредственно на известняках каменноугольного возраста, заключающих в себе горизонт артезианских вод. В этих окнах можно считать подземные воды карбона полностью незащищенными.

Но и вне гидрогеологических окон может идти перетекание сверху вниз). Разделяющая толща (водоупор) верхнеюрских глин существенно меняет свою мощность на территории города. И в каждом случае необходимо сравнивать реально формирующийся градиент нисходящего перетекания с величиной начального градиента фильтрации сквозь глины. Эта величина близка к 0,5–0,6. Если градиент перетекания на площадке выше этих значений или близок к ним, следует считать артезианские воды незащищенными от поверхностного загрязнения.

Здесь, так же как и в случаях с фильтрацией сквозь глинистые экраны, следует учитывать химический состав загрязненной воды. Если она существенно минерализована, то проницаемость разделяющей толщи может возрасти настолько, что эту толщу нельзя будет считать надежным водоупором даже при напорных градиентах нисходящего перетекания ниже начального.

Как будет показано в этой книге, проблема загрязнения межпластовых вод приобрела в последние четыре—пять десятилетий совершенно иной масштаб. Если раньше гидрогеологи сталкивались с загрязнением эксплуатируемого водоносного горизонта у водозаборной скважины, затем на площади размещения водозаборных скважин, потом появилась проблема защиты целых месторождений питьевых вод от загрязнения, то сейчас можно констатировать наличие крупнейшего площадного очага загрязнения, которым является вся Москва с пригородами, угрожающего огромной гидрогеологической структуре первого порядка — Московскому артезианскому бассейну.

1.3.2. Гидрогеохимическая защищенность подземных вод

В связи с возросшей сложностью условий жизнедеятельности человека учеными во второй половине XX в. обращается внимание на оценку сохранности ресурсов подземных вод. Наиболее распро-

страненной причиной ухудшения качества вод является их загрязнение, под которым следует понимать явление негативного изменения состава подземных вод под воздействием техногенных нагрузок.

Проблема техногенного воздействия на подземные воды территорий городов исследована слабо. В то же время техногенные воздействия на подземные воды территорий городов характеризуются своеобразием, а именно: а) высокой интенсивностью; б) комплексным проявлением рассредоточенного (площадного) и точечного (локального) распределения; в) существенным видовым разнообразием техногенных объектов, резким разнообразием техногенных компонентов по геохимическим свойствам и по принадлежности к минеральному, органическому и органо-минеральному формированию; г) исключительно широким распространением объектов, формирующих органическое и углеводородное загрязнение; д) интенсивным загрязнением атмосферы газообразными компонентами и кислыми атмосферными осадками, практическим загрязнением пород верхней части зоны аэрации микро- и другими компонентами, концентрации которых уменьшаются с глубиной.

Среди методов оценки загрязнения подземных вод первое место отводится установлению степени их защищенности от воздействия источников загрязнения. При этом за граничное условие наличия загрязнения, как правило, принимаются ПДК компонентов-загрязнителей.

В середине 40-х гг. XX в. А.Н. Бунеев обратил внимание на возможность природных сред противостоять техногенному воздействию, предложив использовать для оценки этого явления на урбанизированных территориях «емкость» поглощения природной средой негативности воздействия.

В 1968 г. Ж. Марга (Франция) для оценки способности подземных вод противостоять загрязнению предложила термин «уязвимость» подземных вод по отношению к загрязнению.

В начале 80-х гг. XX в. В.М. Гольдберг (СССР) и С. Газда (ЧССР) сформулировали понятие о геофильтрационной защищенности подземных вод от загрязнения, главным показателем которой, по их мнению, следует считать время достижения загрязнителями уровня подземных вод. Основанием для этого послужили исследования пород по литологическому составу и фильтрационным свойствам, исследования соотношений напоров подземных вод различных водоносных комплексов и пр. В середине 80-х гг. XX в. Л. Аллен, Т. Беннет, Дж. Лен и К. Нейкетт (США) опубликовали работы, касающиеся оценки границ загрязнения подземных вод.

В разных вариантах методики защищенности подземных вод от загрязнения с геофильтрационных позиций пользуются до настоящего времени. В самом общем виде оценочные параметры этой методики представлены литологическим составом, мощностью пород зоны аэрации, характеризующихся конкретными гидродинамическими условиями. Оценка защищенности — балльная. К наиболее известным исследователям, широко пользующимся указанной методикой, в России относятся И.С. Зекцер, А.Я. Гаев, В.М. Гольдберг, Р.Г. Джамалов, В.А. Мироненко, И.С. Пашковский, Н.В. Роговская и др.

Паряду с термином «защищенность», при оценке загрязнения подземных вод используются термины «уязвимость» и «устойчивость» вод к загрязнению. Эти термины в смысловом отношении неоднозначны: а) *защищенность* определяется комплексом процессов, протекающих в природно-техногенных системах и снижающих или уничтожающих воздействие загрязнителей на подземные воды; б) *уязвимость* — обратная величина защищенности; в) *устойчивость* определяется свойствами природных систем противостоять загрязнению; другими словами, если природная среда устойчива к загрязнению, то она может быть в той или иной степени защищена от загрязнения.

К сожалению, до настоящего времени исследователи при рассмотрении результатов исследований не обращают внимания на используемую терминологию. По нашему мнению, для исследований загрязнения подземных вод, всегда приуроченных к природно-техногенным миграционным системам, наиболее удачен термин «защищенность», так как именно этот термин лучше всего соответствует решению задач по защите природы от негативного техногенного воздействия.

В конце 80-х гг. XX в. С.Р. Крайнов и В.М. Швец, используя термин «устойчивость» геологической среды к загрязнению и опираясь на способности пород зоны аэрации локализовать и предотвратить загрязнение подземных вод посредством формирования гидрохимических барьеров, установленных А.И. Перельманом, по сути, сделали шаг к защищенности подземных вод с гидрогеохимических позиций.

В 80–90-х гг. XX в. и в начале XXI в. К.Е. Питьевой опубликованы работы, в которых рассматриваются вопросы защищенности подземных вод от загрязнения с гидрогеохимических позиций. Большое внимание в этих работах уделяется гидрогеохимической защищенности территорий нефтегазовых месторождений Прикаспия, северо-

запада Сибири. Восточной Сибири, а также территорий городов (Москвы, Калуги и др.) [16, 21].

В то же время появляются работы А.Н. Белоусовой, О.П. Галактионовой и др., посвященные защищенности подземных вод от загрязнения посредством физико-химических процессов, способствующих снижению концентраций компонентов-загрязнителей при их миграции от источников загрязнения к подземным водам.

В целом исследования загрязнения подземных вод с использованием гидрогеохимической защищенности до настоящего времени находятся в стадии становления. Тем не менее значимость гидрогеохимической защищенности в исследованиях загрязнения подземных вод огромна, и на это указывает следующий простой пример: если с позиций геофильтрационной защищенности подземные воды площадей, сложенных песками, оцениваются как незащищенные от загрязнения, то с гидрогеохимических позиций эти воды защищены от загрязнения по целому ряду компонентов-загрязнителей (например, тяжелым металлам).

К конкретным недостаткам оценки защищенности подземных вод от загрязнения с геофильтрационных позиций следует отнести:

- а) ограничение рассмотрения защищенности зоной аэрации;
- б) качественный уровень (балльность) оценки защищенности;
- в) недостаточность гидрогеологических оценочных параметров, которые могли бы обеспечить оптимальный уровень оценки защищенности от загрязнения;
- г) слабую достоверность результатов оценки защищенности, особенно в условиях, неблагоприятных для использования приемов геофильтрационной направленности.

Гидрогеохимическая защищенность — это защита подземных вод от негативного влияния техногенных факторов, в том числе объектов загрязнений, осуществляемая физико-химическими процессами в источниках техногенного влияния, в средах на пути к подземным водам и в самих подземных водах, характер которых определяется свойствами компонентов-загрязнителей и условиями природных и техногенных сред, приводящими к полной или частичной ликвидации негативного влияния со стороны техногенных нагрузок.

Физико-химические процессы защищенности рассредоточены по миграционным системам, представленным, в отличие от природных миграционных систем, присутствием загрязнителей и других носителей техногенных нагрузок. Гидрогеохимическая защищенность имеет наиболее существенное значение для прогноза распро-

странения загрязнений в подземных водах территорий, где практически отсутствует геофильтрационная защищенность.

Задачи исследования гидрогеохимической защищенности:

- 1) выявление наличия физико-химических процессов защищенности;
- 2) оценка характера процессов защищенности;
- 3) установление приуроченности процессов защищенности к источникам загрязнения и средам распространения загрязнений до подземных вод и к самим подземным водам;
- 4) количественная оценка процессов защищенности;
- 5) оценка итоговой защищенности с позиций пространственно-временного прогноза загрязнения подземных вод.

Принципы гидрогеохимической защищенности

1. Гидрогеохимическая защищенность базируется на систематизации физико-химических процессов, направленных на уменьшение или уничтожение негативного воздействия загрязнителей на подземные воды.

2. Процессы защищенности систематизируются следующим образом:

а) концентрационные, уменьшающие содержание или уничтожающие компоненты-загрязнители в загрязненных растворах. К концентрационным процессам относятся процессы кристаллизации, возникающие вследствие нарушения равновесий по термодинамическим рН–Еh-условиям; адсорбционные процессы; процессы образования газообразных молекулярных компонентов (молекулярного азота, серы и др.);

б) изменяющие более токсические миграционные формы компонентов на менее токсичные вследствие изменения рН и Еh-условий; это процессы окисления и восстановления, которые распространены в зоне аэрации;

в) нейтрализующие кислотность техногенных растворов; это процессы трансформаций кислот в солевые нейтральные формы, протекающие в зоне аэрации и в подземных водах;

г) процессы смешения подземных вод с техногенными растворами, приводящие к формированию менее минерализованных по сравнению с природными водами смесей, распространенных в водонасыщенной части водоносных комплексов, подверженных техногенному влиянию.

3. Гидрогеохимическая защищенность не ограничивается вышеуказанными процессами. В природно-техногенных условиях, как

правило, присутствуют процессы, не вызывающие изменений в составе загрязнителей. Это процессы переноса от источника загрязнения к подземным водам геохимически нейтральных компонентов, например ионов хлора и натрия, которые являются обязательными составляющими подавляющего числа загрязненных атмосферных осадков и сточных вод.

4. В условиях обогащения загрязнителей органическими веществами при их транспортировке к подземным водам формируются миграционные системы со значительным содержанием углекислого газа, вызывающего углекислотное выщелачивание пород и тем самым способствующего увеличению концентраций выщелачиваемых их пород компонентов в растворах-загрязнителях.

Пример одного из видов систематизации процессов гидрогеохимической защищенности представлен в табл. 1.3.

Характеристические особенности гидрогеохимической защищенности

1. Гидрогеохимическая защищенность является высокодостоверным признаком оценки степени защиты подземных вод от загрязнения, что обосновывается:

- а) комплексностью оценочных параметров;
- б) выходом на итоговом заключительном этапе оценки защищенности на количественный уровень;
- в) рассмотрением для каждого конкретного техногенного объекта цикла процессов защитного характера, формирующихся посредством геохимической трансформации загрязнителей в источниках загрязнения; в условиях инфильтрации загрязненных растворов через почвы, породы зоны аэрации; непосредственно в подземных водах и взаимосвязанных с ними поверхностных водах;
- г) учетом влияния на трансформацию загрязнителей максимально возможного числа факторов, представленных миграционными системами атмосферы, литосферы, гидросферы, биосферы.

2. Оценка сохранности подземных вод от загрязнения посредством гидрогеохимической защищенности не ограничена зоной аэрации и осуществляется во всех миграционных системах, связанных с компонентами-загрязнителями. Начальная миграционная система представлена источниками загрязнения; промежуточная — зоной аэрации (почвы, породы-загрязнители); конечная — подземными водами, рассматриваемыми с позиций процессов в пределах подземных вод и их влияния на поверхностные воды.

Пример систематизации процессов гидрогеохимической защищенности

Среда	Миграционная система	Процессы защищенности			Не изменяют условий загрязнения
		Концентрационные	Изменения миграционных форм	Нейтрализации	Увеличивают степень загрязнения
Атмосфера	Кислые атмосферные осадки — пылеватые частицы, газ	Очень слабые	Очень слабые	Взаимодействие с карбонатными и терригенными минералами и с аммиаком	Нет Нет
Наземные объекты	Стоки и загрязненные атмосферные осадки	Очень слабые	Слабые	Нет	Нет Нет
Юна миграции	Порода — стоки, атмосферные осадки	а) адсорбция NH_4^+ , $\text{C}_{\text{орг}}$ УВ микрокомпонентов (защищенность 70–80%); б) осаждение микрокомпонентов при окислении, изоморфизме, соединений с Ca^{2+} , HCO_3^- и др. (защищенность 70–90%)	Восстановление NO_3^- в N_2 при $\text{C}_{\text{орг}}$ (защищенность 60–80%). Сульфатредукция SO_4^{2-} в присутствии глин с образованием H_2S . Обмен NH_4^+ стока на Na^+ ионно-солевого комплекса породы	При взаимодействии сернокислых растворов с карбонатными. Азотнокислых с алюмосиликатами, углекислых с аммиаком	Cl^- , Na^+ стоков и атмосферных осадков Углекислотное выщелачивание карбонатных и терригенных пород; растворение сульфатных пород
Подземная среда	Подземные воды — сток и атмосферные осадки	Смешение фоновых подземных вод со стоками и атмосферными осадками	Не всегда	Не всегда	Cl^- , Na^+ стоков и атмосферных осадков Углекислотное выщелачивание и растворение пород

3. Результаты оценки защищенности, выполненные для конкретной миграционной системы, учитываются при исследовании процессов защищенности, протекающих в последующих системах.

4. При использовании гидрогеохимической защищенности результат загрязнения подземных вод оптимальный, так как охватывает максимально возможное число объектов и компонентов загрязнения для максимально возможного числа миграционных сред, взаимосвязанных с подземными водами.

5. Оценка сохранности природных сред посредством гидрогеохимической защищенности экономична, так как основана на естественно-историческом анализе.

В значительной степени экономичность исследований определяют авторские методические приемы интерпретации данных: гидрогеохимическое классифицирование; картирование; количественная оценка трансформации состава подземных вод, позволяющие устанавливать и прогнозировать техногенные процессы с высокой точностью на основе минимального числа натуральных данных.

Количественная оценка гидрогеохимических процессов защищенности подземных вод от загрязнения осуществляется следующим образом:

а) количество загрязнения в источнике загрязнения принимается за 100%;

б) количество загрязнения в каждой последующей миграционной системе вычисляется в процентах и абсолютных величинах от 100%;

в) суммированием величин изменения содержания загрязненных компонентов во всех миграционных системах и вычислением полученной суммы из содержания загрязнителей в источнике загрязнения получается величина загрязнения подземной воды.

Среди основных оценочных критериев ПДК и природного фона последний наиболее значителен, так как способствует более своевременному, следовательно целесообразному, решению экологических вопросов.

Процессы гидрогеохимической защищенности подземных вод в миграционных системах, задействованных в трансформации компонентов-загрязнителей, различны по характеру и интенсивности.

Атмосфера. Компоненты-загрязнители представлены газообразными соединениями серы, азота, углеводородов, поступающих с газообразными выбросами преимущественно в восстановительных миграционных формах. Окисляясь в атмосферных осадках, они способствуют формированию серной, угольной и других кислот, обу-

повышение концентрации ионов водорода, который, вследствие высокой геохимической активности, рассматривается как интенсивно действующий на живые организмы, а также бетонные и железобетонные сооружения компонент-загрязнитель. Значительные концентрации ионов водорода фиксируются низкими (кислыми) рН атмосферных осадков.

В связи с наличием в атмосферных осадках пылеватых частиц в форме карбонатных соединений возникает процесс нейтрализации серной кислотности осадков.

Так же сказывается на состоянии атмосферы окисление восстановленных форм азота и углеводородов до NO_3^- и CO_2 . Таким образом, в зону аэрации поступают атмосферные осадки с низкими значениями рН.

В защищенности атмосферы участвуют ветры, которые способствуют рассеянию газообразных загрязнителей, вынося их за пределы территорий формирования.

В стоках отсутствуют процессы защищенности, которые могли бы оказать значимое влияние на подземные воды. Восстановительные условия определяют для стоков соотношение азотных соединений в форме $\text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^-$ и $\text{H}_2\text{S} > \text{SO}_4^{2-}$. В зону аэрации, таким образом, стоки поступают практически неизменными по химическому составу.

Зона аэрации. Для нее характерно значительное разнообразие физико-химических процессов, способствующих защите подземных вод от загрязнения, среди которых главные — процессы нейтрализации: окисление, восстановление, сорбция, осаждение.

Процессы нейтрализации представлены преимущественно сернокислотным выщелачиванием карбонатных минералов, в ходе которого рН возрастают до нейтральных. В случае взаимодействия кислых атмосферных осадков с карбонатными породами посредством сернокислого выщелачивания их нейтрализация, как правило, осуществляется до конца.

По причине постоянного площадного поступления компонентов-загрязнителей из атмосферы в зону аэрации связанные с ними процессы защищенности от загрязненных атмосферных осадков в зоне аэрации также являются площадными и постоянными во времени.

На участках значительного распространения суглинков и других мелкодисперсных разностей пород в зоне аэрации и поступления в повышенных концентрациях углеводородов-загрязнителей может возникнуть слабовосстановительная обстановка. Это способствует восстановлению сульфатов до сероводорода.

На участках обогащения пород карбонатами сероводород может сохраняться, но на участках широкого распространения терригенных пород он тратится на построение вторичных сульфидов, что оказывает защищающее действие на подземные воды. Процессы восстановления затрагивают также нитраты, восстанавливающиеся до нейтрального азота.

Сорбционные процессы относятся к соединениям азота, микрокомпонентам, углеводородам.

Процессы осаждения широко представлены в зоне аэрации и относятся главным образом к микрокомпонентам. Осаждаются: а) карбонатные формы тяжелых металлов, а также соединения микрокомпонентов с кальцием и магнием, характеризующиеся слабой растворимостью; б) изоморфные формы микрокомпонентов, обладающие близкими радиусами с макрокомпонентами; в) фосфор по схеме фосфата кальция с образованием апатита. Процессы осаждения обеспечивают удаление микрокомпонентов из стока на 50–90% и более.

Геоэкологическая защищенность подземных вод от загрязнения в пределах водонасыщенной части водоносного комплекса представлена процессами смешения и дисперсии.

Система «*подземная вода — загрязнители* (стоки и атмосферные осадки)». В ней возникают гидрогеохимические условия, характеризующиеся неоднозначностью по минерализации и концентрации составляющих ее компонентов.

Защищенность через процесс смешения определяется соотношением минерализации природных подземных вод с загрязненными растворами; подземные воды защищены от загрязнения в случае, когда их минерализация в природных условиях превышает минерализацию смешивающихся с ними загрязненных растворов.

Процесс смешения в условиях загрязнения носит всеобъемлющий характер. Результативность этого процесса в значительной степени определяется физико-географическим положением и связанным с ним составом подземных вод верхней гидродинамической зоны. Так, в результате смешения пресных вод с загрязнителями формируются загрязненные воды. В аридных условиях с преобладанием в верхней гидродинамической зоне минерализованных вод часто смешение с менее минерализованными стоками приводит к формированию смесей с пониженной по сравнению с природным фоном минерализацией.

Например, минерализация ($\approx 20\text{--}30$ г/дм³) и концентрация составляющих ее компонентов в подземных водах фонового формирования аридного Прикаспия существенно выше минерализации

и концентрации компонентов в загрязнителях (оценена в 3 и более г/дм³).

В рассматриваемой миграционной системе процесс смешения подземных вод со стоками и загрязненными атмосферными осадками приводит к формированию смесей со значительно уменьшенной (до 10 раз) по сравнению с фоновыми подземными водами минерализацией.

В области, удаленной от области формирования смесей и характеризующейся переносом смесей техногенным фильтрационным потоком, состав смесей в итоге приближается к составу минерализованных природных подземных вод.

Ранее указанная системность исследований трансформации загрязнителей в миграционных природно-техногенных системах позволяет учесть влияние процессов защищенности на величины загрязнения подземных вод.

В табл. 1.4 приведен пример учета процессов трансформаций минерализации сульфата, марганца и цинка в загрязненных растворах в зоне аэрации, в подземных и поверхностных водах одного из прикаспийских районов. Этот пример показывает, что учет процессов существенно корректирует оценку загрязнения подземных вод.

Территория формирования и распространения процессов гидрогеохимической защищенности представляют собой в структурном отношении техногенную область с границами, испытывающими пространственную изменчивость во времени. Постоянство границ в пространственно-временном режиме указывает на установление стационарного режима процессов гидрогеохимической защищенности. Граница территории распространения процессов гидрогеохимической защищенности выражается формулой

$$\Delta \Sigma M = \Sigma M_{\text{техн}} - \Sigma M_{\text{прир}} = 0,$$

где ΣM — суммарная минерализация (или концентрация любого компонента-загрязнителя); $\Sigma M_{\text{техн}}$ — суммарная минерализация вод в техногенных условиях; $\Sigma M_{\text{прир}}$ — суммарная минерализация в природных условиях.

Изменение концентраций компонентов в загрязненных растворах при их инфильтрации через зону аэрации с учетом и без учета процессов

Концентрация компонентов-загрязнителей в источниках загрязнения											
Атмосфера						Стоки					
В атмосферных осадках						В стоках					
мг/дм ³			г/дм ³			мг/дм ³			г/дм ³		
В	Р	Мn	Zn	SO ₄ ²⁻	ΣМ	В	Р	Мn	Zn	SO ₄ ²⁻	ΣМ
0,055	0,44	0,09	0,1	0,038	0,16	0,49	0,47	0,34	0,14	0,4	0,95
Зона аэрации											
На выходе из зоны аэрации											
Без учета процессов											
мг/дм ³			г/дм ³			мг/дм ³			г/дм ³		
В	Р	Мn	Zn	SO ₄ ²⁻	ΣМ	В	Р	Мn	Zn	SO ₄ ²⁻	ΣМ
0,055	0,44	0,09	0,1	0,038	0,16	0,49	0,47	0,34	0,14	0,4	0,95
С учетом процессов											
0,51	0,001			0,038	0,16	2,6	0,07	0,003	0,003	0,4	0,95
Подземные воды											
Региональный фильтрационный поток до смешения с загрязненными водами, инфильтрующимися через зону аэрации											
мг/дм ³						г/дм ³					
В	Р	Мn	Zn	SO ₄ ²⁻	ΣМ	В	Р	Мn	Zn	SO ₄ ²⁻	ΣМ
Q ₃ h _v											
1,6	0,24			2,86		10,0		2,5			25,0
Q ₂ h _z											
1,24	0,95			2,86		8,52		2,5			25,0
Смеси подземных вод регионального фильтрационного потока с загрязненными осадками и стоками: 1) на участках техногенной инфильтрации W = 1,5 · 10 ⁴ м/сут; 2) на выходе в поверхностные воды											
Без учета процессов в зоне аэрации											
0,49	0,47			0,34		0,14 ¹⁾		–			–
0,93	0,66			1,7		4,81		1,53			12,93 ²⁾
С учетом процессов в зоне аэрации											
2,6	0,07			0,003		0,003 ¹⁾		–			–
1,83	0,47			1,54		4,74		1,53			13,93 ²⁾
По натурным данным 1993 г. в техногенной области											
2,7	0,09			1,35		0,4					–

Поверхностные воды											
Поверхностные воды, не испытывавшие влияния АГХК						Смеси поверхностных вод с загрязненными подземными водами. Прогнозные данные математического моделирования					
Поверхностный смыв			Слабое влияние поверхностного смыва			В межень					
						Без учета процессов в зоне аэрации			Нейтральность		
В	Р	Mn	Zn	SO ₄ ²⁻	ΣM	В	Р	Mn	Zn	SO ₄ ²⁻	ΣM
В	Р	Mn	Zn	SO ₄ ²⁻	ΣM	0,105	0,191	0,215	0,476	149	1200
-	0,159	0,115	0,183	56	350	С учетом процессов в зоне аэрации			Нейтральность		
Поверхностный смыв			Сильное влияние поверхностного смыва			0,164	0,179	0,205	0,476	149	1200
						В паводок					
						0,049	0,159	0,115	0,183	56	350 ¹⁾
-	0,159	0,115	0,183	319	950	0,049	0,159	0,115	0,183	319	950 ²⁾
ПДК, мг/дм ³											
В		Р		Mn		Zn		SO ₄ ²⁻		ΣM	
0,5*		0,7		0,1		1,0		500		1000	
0,017		1,14		0,1		0,01		100		1000	
Фоновая концентрация (1986 г.)											
0,43		0,32		0,117		0,89		40		200	

* В числителе — для вод хозяйственно-питьевого назначения, в знаменателе — для рыбохозяйственного назначения; 1) — без учета поверхностного смыва; 2) — с учетом поверхностного смыва.

2. МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОРОДОВ

2.1. МЕТОДИКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗОНИРОВАНИЯ ГОРОДОВ

Геоэкологическое зонирование — один из важнейших способов естественно-исторического анализа территории. Оно заключается в разбиении территории на области, районы, участки и более мелкие подразделения, являющиеся членами (единицами, таксонами) единой иерархической системы. Очевидная польза районирования состоит в возможности существенно упростить наше представление о геологическом строении и гидрогеологических условиях в каждом конкретном разделе. В этом смысле районирование может считаться одним из методов создания и обоснования гидрогеоэкологических моделей, необходимых для решения прогнозных задач.

Основная цель геоэкологического зонирования городских территорий — обоснование градостроительных решений и, в частности, генеральных планов. Действительно, проектные решения о размещении в том или ином районе города (и даже на отдельных площадках) парков, АЗС, жилья, коммунальных объектов (водозаборов, очистных сооружений, свалок, кладбищ и т.п.), дорог и пр. требует доказательного обоснования в виде графических материалов, расчетов, моделирования и экспертных оценок. Для использования архитекторами предпочтительны графические материалы в виде карт и планов, на которых показываются зоны города, пригодные для того или иного вида использования, и линии ограничения определенных направлений хозяйственной деятельности.

Экологическое обоснование (ЭО) генпланов городов все чаще становится необходимым и даже обычным делом. Так, было сделано ЭО для Казани, Воронежа (ЗАО Шанэко — С.А. Васильев), Железнодорожного (Московская обл.) и ряда округов Москвы (ЗАО ЦПГ — М.С. Орлов, С.М. Орлов, Д.О. Толстихин, А.А. Соломко). При этом было выявлено определяющее значение геоэкологического обоснования, поскольку строительство затрагивает наиболее существенно геологическую среду города. Строительство любых инженерных сооружений неизбежно оказывает прямое воздействие на почвы, грунты, водотоки и пруды с их донными отложениями, и в первую

очередь на подземные воды — самый динамичный компонент среды.

Подземные воды определяют само наличие и интенсивность влияния практически всех инженерно-геологических процессов: оползания, суффозии, карста, тиксотропии (разжижения), подтопления, загрязнения и пр. Особо следует остановиться на загрязнении грунтовых вод, поскольку негативные последствия этого процесса проявляются:

- в ухудшении химического состава (агрессивность) грунтовых вод, контактирующих с подземными частями инженерных сооружений;
- существенном снижении качества воды для хозяйственно-питьевых целей;
- долговременном загрязнении рек за счет высоких емкостных свойств водоносных пород;
- увеличении проницаемости водоупоров и глинистых экранов.

Таким образом, чтобы составить карту или план геоэкологического зонирования города или его района, следует проанализировать существующее или проектируемое градостроительное функциональное зонирование и сделать анализ защищенности грунтовых вод. И тот и другой анализы рационально представить в форме карт, при совмещении которых можно получить синтетическую карту, дающую возможность геоэкологического обоснования строительства. Ниже изложим методику составления таких карт.

Первый (главный) принцип районирования территорий в геоэкологических (экологических) целях — выделение водосборных бассейнов малых водотоков. Естественно предположить, что потоки грунтовых вод питаются инфильтрацией атмосферных осадков и утечками из подземных водонесущих коммуникаций именно на площадях водосбора и разгружаются в ручьи и реки. В случаях когда речка забрана в трубу или засыпана, функцию дрены принимает на себя подрусловой поток. Он существует неопределенно долгое время после того, как речка или ручей исчезли с карты города. Для Москвы следует пользоваться картой восстановленной гидрографической сети, составленной Ю.А. Насимовичем (М.: Геология и город, 1997) или другими источниками по другим городам. Полезен анализ старых и даже древних карт. Теоретической основой районирования территории по водосборным бассейнам является известное обстоятельство — перенос вещества, энергии и информации в экосистемах происходит с помощью водных растворов. Выбор величины водосборов определяется, с одной стороны, природными условиями (густотой гидросети), а с другой — целью и масштабом исследования.

Методика составления

карт защищенности подземных вод

Подход к оценке защищенности подземных вод должен учитывать различия в методике такой оценки применительно к грунтовым (первым от поверхности водоносным горизонтам) и к межпластовым (артезианским) водам. Вторым принципиальным моментом в оценке защищенности становится масштаб исследований (изысканий). Первые методики (В.М. Гольдберг, Н.В. Роговская, К.Е. Питьева и др.) разработаны под региональную оценку — для масштабов около 1:200 000. Этот масштаб не позволяет увидеть детали размером менее 1—0,5 км, т.е. может использоваться на самых первых, прединвестиционных оценках условий землепользования, например для составления генсхем развития промышленности или сельского хозяйства в субъектах Федерации. Существенными для практических целей проектирования и строительства стали оценки защищенности в крупном масштабе 1:25 000 и крупнее. Здесь уже можно учесть как естественную фильтрационную неоднородность грунтовых толщ, составляющих зону аэрации (в этом масштабе, т.е. с точностью до 100 м), так и наличие площадных и линейных источников загрязнения. Однако и эти масштабы могут удовлетворить проекты строительства инженерных сооружений только на предпроектной стадии.

Гораздо более востребованной для городской территории в целом или по районам является оценка загрязнения в детальных масштабах, отвечающих проектной стадии. Это масштабы 1:10 000 и крупнее. В одном сантиметре карты — 100 м, поэтому на ней можно точно показать местоположение каждого строения, каждого выпуска в реку, каждой свалки, дороги и прочих элементов городской инфраструктуры. В этих масштабах неоднородность геологического строения может быть показана с точностью и детальностью, отвечающими кондиционным изыскательским материалам; состояние поверхности может быть охарактеризовано со всеми важнейшими характеристиками: уклонами, распаханностью и изрытостью, асфальтированностью и пр., могут быть показаны все подземные водонесущие коммуникации: водопровод, трассы дождевой, промышленной и хозяйственной канализации, очистные сооружения, отстойники, шламо- и хвостохранилища, выпуски и др. Более того, на таких картах (или в виде слоя к ним) могут быть даны необходимые обоснования достоверности сделанных оценок защищенности, показаны поля распространения основных специфических или неспецифических компонентов-загрязнителей, построены гидрогеохимические карты.

Какие же показатели и как должны войти в оценку защищенности грунтовых вод? Рассмотрим их ниже и попытаемся оценить полуколичественно.

Состояние поверхности. Защищенность грунтовых вод снижается в такой последовательности: асфальт (5 баллов), застройка (4 балла), газон (3 балла), пашня (2 балла), изрытость и пустыри (1 балл).

Наличие подземных водонесущих коммуникаций. Защищенность грунтовых вод снижается в такой последовательности: водопроводы и водоводы (4 балла), теплотрассы (3 балла), промканализация (2 балла), хозбытовая и дождевая канализационные трассы (1 балл). Утечки из них постоянны во времени, а пространственно распределены по территории неравномерно.

Уклон поверхности. Защищенность грунтовых вод снижается от 30° уклона, где инфильтрация близка к нулю, до горизонтальной поверхности, где инфильтрация близка к 10–15% от среднегодовой нормы осадков, что проверяется по карте многолетнего подземного стока, составленной Б.И. Куделиным и др. В частности, территория г. Москвы характеризуется величиной инфильтрационного питания около 2 дм³/с/км². Поскольку вопрос о влиянии уклона поверхности на инфильтрацию исследован явно недостаточно, предложим следующую эмпирическую шкалу.

Величина уклона	<5°	5°–10°	10°–15°	15°–20°	20°–30°
степень влияния на инфильтрацию	1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов

Строение зоны аэрации. Защищенность грунтовых вод снижается в такой последовательности: глина (7 баллов), моренный суглинок (6 баллов), покровный суглинок (5 баллов), супеси (4 балла), лессовидный суглинок (3 балла), пески (2 балла), техногенные грунты (1 балл). Оценку защищенности нужно делать исходя из наличия в конкретном разрезе наименее проницаемого прослоя в толще пород зоны аэрации. («Эскадра идет со скоростью самого медленного корабля» — адмирал Макаров).

Наличие инженерных сооружений. Здесь не удастся выстроить последовательность, но понятно, что наличие карьеров, котлованов, канав, руин, различных отстойников, полей фильтрации, свалок и полигонов, кладбищ и пр. существенно снижает защищенность грунтовых вод (1 балл), порой до нуля. В то же время наличие экранов и дренажей у отстойников повышает оценку защищенности (3 балла).

Петрографическая характеристика глинистых грунтов. Наличие в толще глин и суглинков монтмориллонита, каолинита и других

замтно набухающих минералов повышает защищенность (от 1 до 3 баллов).

Характеристики загрязняющих жидкостей. Глинистые породы и экраны из них могут повышать свою проницаемость на два порядка и, следовательно, терять свои изолирующие свойства при фильтрации минерализованных кислых или щелочных жидкостей и проток (от 3 до 1 балла).

Коэффициенты фильтрации пород зоны аэрации. Понятно, что чем выше величины коэффициентов фильтрации пород (наименее проницаемых), тем защищенность ниже. Здесь необходимо иметь в виду, что определение коэффициента фильтрации нужно проводить в вертикальном направлении и по той жидкости, которая, по наибольшей вероятности, будет сквозь эту породу фильтроваться.

K_f , м/сут	$<10^{-5}$	$10^{-5}-10^{-3}$	$10^{-3}-1$	1-5	5-20	>20
Степень защищенности	5 баллов	4 балла	3 балла	2 балла	1 балл	0 баллов

Суммируя баллы оценки по каждому признаку, получаем общую относительную полуколичественную характеристику выделенного района или зоны, которую вслед за В.М. Гольдбергом можно назвать категорией защищенности. Далее делают ранжирование категорий с учетом степени ответственности проектируемых инженерных сооружений и придают цвет на карте этим районам.

Оценка защищенности межпластовых вод

Москва расположена в центре региональной области депрессии напоров всех артезианских горизонтов с пресной водой. Здесь горизонты верхнего, среднего и нижнего карбона зачастую уже не имеют избыточного напора над кровлей и потеряли право называться артезианскими. На всей территории города и его пригородов напоры в карбоне ниже напоров грунтовых вод и урезом рек. Эта инверсия напоров повсеместно привела к нисходящей фильтрации. Наиболее интенсивно нисходящее перетекание формируется в области древних ложбин стока и речных долин — в «гидрогеологических окнах». В этих узких окнах можно считать подземные воды карбона полностью незащищенными. В городе известны зоны интенсивной закарстованности известняков и доломитов карбона, известны и места проявления суффозии. Их целесообразно также относить к районам незащищенным, что, кстати, подтверждается и гидрогеохимическими признаками.

Каждый признак, положенный в оценку защищенности, оценивается полуколичественно, в баллах. Сумма баллов характеризует

категорию защищенности. Таких категорий может быть и много, и мало, но для грубой оценки территории города, как представляется, достаточно трех: незащищенная (сумма баллов менее 17), слабо защищенная (сумма баллов от 18 до 25) и относительно защищенная (сумма баллов выше 26). Поскольку данная карта будет использоваться неспециалистами, следует в ее легенде и описаниях избегать таких оценок, как «хорошо защищенная». Такая оценка часто провоцирует хозяйственников на безответственное отношение к подземным водам. Три категории оценок могут изображаться на карте «светофорной» гаммой цвета.

Методика составления карт функционального зонирования

Городские территории существенно и различно влияют на грунтовые воды. Понятно, что есть разница в воздействии утечек промышленных стоков на заводских территориях и относительно чистой инфильтрации с территорий лесопарка. В связи с этим представляется рациональным разделить территорию города или его района на следующие зоны:

1) рекреационные территории: ООПТ, заказники, лесопарки, парки, обширные скверы, зоны санитарной охраны водозаборов, водоохранные зоны рек и водосемов;

2) многоэтажная современная жилая застройка с коммуникациями в инженерных коллекторах, деловые кварталы современной застройки;

3) старая многоэтажная застройка, застройка усадебного типа (частный сектор), промплощадки, дороги и сопровождающая их инфраструктура, кладбища, свалки, очистные сооружения.

Эти три категории функционального зонирования также изображаются на плане города тремя цветами.

Методика составления синтетической карты геоэкологических условий

При совмещении обеих карт (суперпозиция) возможны такие сочетания цветов на отдельных картах:

1) совпадение красных пятен с красным. Это наиболее неблагоприятные районы, где, вероятно, есть или будут серьезные проблемы с загрязнением, что может проявиться на карте загрязненности почв, на карте заболеваемости растений и на картах неблагоприятных инженерно-геологических условий. Для этих районов показана не только охрана подземных вод, но и их защита, а зачастую и реабилитация;

2) во всех промежуточных сочетаниях требуется внимательное и конкретное решение по управлению подземными водами при совпадении: красных пятен с желтыми; красных пятен с зелеными; желтых пятен с желтыми; сочетание зеленого с зеленым наиболее благоприятно для оценки геоэкологических условий города.

2.2. ЕСТЕСТВЕННО-ИСТОРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ — ОСНОВА ЭКОЛОГО-ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.2.1. Общие положения

Естественно-исторический анализ включает ряд приемов, среди которых наиболее значимы: а) использование натуральных данных; б) оценка граничных условий между подземными водами естественного и техногенного формирования; в) определение строения техногенной гидродинамической области в условиях регионального и локального загрязнения подземных вод; г) разграничение подземных вод по составу и качеству на формирующиеся естественным и техногенным путем.

Наиболее существенное влияние на формирование подземных вод и изменение их химического состава и качества оказывают гидрогеодинамические факторы, к которым относятся фильтрационный поток, скорость фильтрации, длина пути фильтрации и вертикальные перегородки. Первый фактор — главный, регионального распространения; три других — частные, проявляющиеся на фоне фильтрационного потока.

В направлении движения подземных вод за счет процессов массообмена в системе «подземная вода — порода» увеличиваются концентрация отдельных компонентов и минерализация в целом.

Различие в суммарной минерализации и концентрации компонентов в подземных водах при близких скоростях фильтрации в двух точках водоносного комплекса, расположенных по направлению движения подземных вод, формируется в условиях:

$$v_1 = v_2; \quad x_2 > x_1; \quad t_2 > t_1,$$

где v — скорость фильтрации воды; x — длина пути фильтрации; t — время фильтрации и протекания процесса.

Тогда

$$C_2 > C_1,$$

где C — концентрация веществ в воде.

Различие в скоростях фильтрации подземных вод разных участков водоносного комплекса в пределах отдельного бассейна подземного

стока сказывается на химическом составе вод вследствие возникновения различий в соотношении между скоростями фильтрации и временем протекания процессов. Это в общем виде укладывается в следующую схему:

$$v_1 > v_2; \quad x_2 = x_1; \quad t_2 > t_1.$$

В этом случае

$$C_1 < C_2.$$

Сложные взаимоотношения между скоростями фильтрации и длинами путей фильтрации носят разнообразный характер. Помимо рассмотренных выше вариантов влияния гидрогеодинамических факторов на концентрации компонентов в подземных водах, можно ориентироваться и на другие.

Вертикальные перетоки, приуроченные к зонам тектонических разломов, прадолинам и др., вызывают формирование в верхней части подземной гидросферы среди пресных и слабоминерализованных подземных вод гидрогеохимических аномалий, часто характеризующихся водами, непригодными для хозяйственно-питьевых нужд. Аномалии обусловлены смешением пресных вод зоны интенсивного водообмена с солеными глубокими водами и магматогенными компонентами. Смешение с солеными глубокими водами свойственно платформенным условиям. Минерализация формирующихся в пределах аномалий вод достигает до десятков граммов на 1 дм³ при хлоридном натриевом составе. Смешение с магматогенными компонентами осуществляется по тектоническим нарушениям, достигающим магматических очагов. Магматогенные компоненты представлены газами (углекислым, азотным и др.), соляной и другими кислотами, серой, многими микрокомпонентами (мышьяком, стронцием, бромом, литием и пр.). Часто концентрация магматогенных компонентов достигает значительных величин, что способствует формированию минерализованных вод. Поступление по зонам тектонических нарушений повышенных концентраций углекислоты усиливает процесс углекислотного выщелачивания пород. В таких случаях минерализация подземных вод верхней гидродинамической юны может достигать 10 г/дм³ и более при гидрокарбонатно-хлоридном или хлоридно-гидрокарбонатном составе.

Типизация природных (фоновых) подземных вод по условиям формирования требует изучения по каждому генетическому типу источников компонентов подземных вод, факторов, обуславливающих настоящее состояние источников и физико-химических процессов в миграционных системах «подземная вода — вмещающая (окру-

жающая) среда». Исследование источников компонентного состава подземных вод связано в значительной степени с исследованием пород, требующим разработки их классификации с позиций физико-химического взаимодействия с подземными водами.

Схематизация подземных вод по химическому составу требует комплексного подхода. Основой схематизации является гидрогеохимическая модель, в которую объединяются подземные воды с общностью химического состава, факторов и процессов формирования. Сформированные в длительное геологическое время природные гидрогеохимические модели строго ограничены пространственно, содержат фоновые (природные) характеристики. Каждой модели свойственны закономерные, в строгих количественных диапазонах изменения природных характеристик, возникающие под влиянием конкретных видов техногенной нагрузки.

Границы гидрогеохимической модели определяются: литолого-минеральным и химическим составом пород; геохимическими свойствами компонентов и их соединений; региональными гидродинамическими условиями; рельефом. Структурно-тектонические и климатические факторы влияют на особенности состава подземных вод на обширных территориях, которые включают несколько гидрогеохимических моделей, обусловленных разнообразием состава пород.

Из генетической характеристики гидрогеохимической модели выводятся строго обоснованные, свойственные каждой модели параметры прикладного значения (например, качества подземных вод, используемых для водоснабжения, и др.) Каждой гидрогеохимической модели естественного формирования присущи жесткие критерии по минерализации и компонентному составу подземных вод, обуславливающих фоновое их состояние. Отклонения от фона — результат влияния на подземные воды техногенеза.

Общая систематика наиболее значимых гидрогеохимических моделей в пределах верхней гидродинамической зоны Земли обоснована геолого-географическими признаками.

Главные признаки систематики моделей: структурно-тектонические, климатические, геоморфологические, гидрогеологические. Они используются в определенном сочетании и соподчинении.

На основе структурно-тектонических признаков выделяют подземные воды платформенных областей, горно-складчатых областей и кристаллических массивов. Для платформенных областей по условиям залегания подземных вод и геофильтрационным обстановкам их целесообразно подразделять на воды верхней гидродина-

мической зоны и воды затрудненного водообмена. Подземные воды верхней гидродинамической зоны систематизируются на основе климатических признаков на подземные воды платформенных областей с гумидным и аридным климатом, учитывается также наличие мерзлотных условий.

В итоге в пределах верхней части подземной гидросферы выделяется незначительное число генетических гидрогеохимических моделей, соответствующих гидрогеохимическим типам наиболее значимого характера: 1) подземные воды платформенных областей с гумидным климатом вне мерзлотных условий; 2) подземные воды платформенных областей с гумидным климатом в условиях мерзлоты; 3) подземные воды платформенных областей с аридным климатом.

Соответствие химического состава и качества подземных вод природным условиям рассматриваемой территории указывает на естественное их формирование. Несоответствие химического состава и качества подземных вод природным факторам указывает на их формирование под воздействием техногенных условий.

Установление границы распространения подземных вод техногенного формирования основывается на сравнении величин концентраций компонентов химического состава вод, а также величин уровней вод, глубин их залегания и других показателей в исследуемый период (т.е. период воздействия на воды техногенной нагрузки с величинами, существовавшими до возникновения техногенной нагрузки, т.е. период естественного формирования вод).

Граница проводится по нулевому результату сравнения, например:

$$\Delta \Sigma M = \Sigma M_{\text{техн}} - \Sigma M_{\text{природн}} = 0 \text{ (г/дм}^3\text{)}.$$

Структура техногенной области в случае регионального и локального загрязнения характеризуется существенной гидрогеохимической неоднородностью. Резко выраженная неоднородность в распространении показателей техногенного влияния на подземные воды свойственна участкам смешения их со стоками. Такие участки выделяются в пределах общей техногенной области как *внутренние техногенные подобласти*.

Внешняя техногенная подобласть представляет собой участки раскисания сформировавшихся во внутренней области смесей. Химический состав вод внешней подобласти изменяется в направлении приближения к составу подземных вод естественного формирования. Уровенная поверхность изменяется в направлении приближения к уровенной поверхности вод естественного формирования.

2.2.2. Принципы эколого-гидрогеохимических исследований городских территорий

1. Характеристика закономерностей формирования химического состава подземных вод в природных (фоновых) условиях; определение природных фоновых и аномальных величин техногенного загрязнения подземных вод.

2. Установление источников загрязнения подземных вод и их систематизация по характеру производственной деятельности; по условиям, видам и форме размещения; по фазовому состоянию.

3. Установление компонентов загрязнения, их систематизация по принадлежности к источникам загрязнения; выявление компонентов-загрязнителей глобального распространения.

4. Исследование процессов и факторов геохимической миграции загрязнения; процессов преобразования компонентов-загрязнителей в источниках загрязнения: промстоках, твердых отходах, в местах скопления нефтепродуктов; по формированию кислых атмосферных осадков и окислительно-восстановительных условий на участках утилизации твердых отходов; процессов в зоне аэрации: нейтрализации кислых осадков; окислению; окислению-осаждению; изоморфному осаждению; осаждению с Ca^{2+} и HCO_3^- ; а также процессов адсорбции; процессов выщелачивания; процессов в подземных водах: на участках смешения компонентов-загрязнителей с подземными водами; в фильтрационном потоке в условиях площадного и точечного поступления в подземные воды компонентов-загрязнителей.

5. Систематизация процессов загрязнения и оценка их влияния на характер ухудшения качества подземных вод и выделения индикаторов загрязнения; обоснование гидрогеохимической защищенности подземных вод.

6. Количественная оценка пространственно-временного загрязнения подземных вод путем картирования, классифицирования, статистического и экспериментального моделирования; прогноз загрязнения подземных вод методами картографирования; оценки «риска» воздействия техногенных объектов на загрязнение подземных вод, оценки ущерба подземным водам от загрязнения.

7. Обнаружение участков поступления загрязнения в подземные воды с использованием индикаторов загрязнения; характеристика аномалий загрязнения по размерам, формам, контрастности, зональности.

Требования к методике гидрогеохимических оценок [16, 17]:

- 1) пространственно-временной подход;
- 2) унифицированность относительно: разнообразия природных и техногенных условий; уровней оценок; масштабности оценок; характера техногенных нагрузок; критериев оценок качества, прогноза, ущерба, рискованных ситуаций; методов опробования, анализа, обработки и интерпретации данных; лабораторно-аналитической базы;
- 3) комплексность, вытекающая из понятия о подземной воде как о геологической сложной системе, характеризующейся единством и взаимообусловленностью химических и динамических свойств, определяемых геохимическими и структурными особенностями самой воды, а также вмещающих и окружающих ее природных и техногенных сред;
- 4) обработка данных наблюдений путем: сочетания натуральных и модельных построений; использования балансового, статистического, картографического и других приемов; применения специфических методов анализа техногенных процессов — изотопии воды, серы сульфатов, геохимически инертных углеводородов и т.д.; интерпретации результатов наблюдений с позиций наиболее полной оценки источников и характера техногенного воздействия на природные среды на этапах оценки состояния и прогноза изменения гидрогеохимической обстановки под влиянием техногенных процессов;
- 5) достоверность и информативность фактических данных и результатов исследований.

Обеспечение методиками и методами оценки достоверности и информативности фактических данных, надежность их обработки и интерпретации явятся обоснованием эффективности стратегии и тактики управления водным хозяйством и оценки с позиций качества состояния водных ресурсов.

Понятие достоверности включает: а) стадию отбора проб воды с позиций соблюдения правил отбора (подготовки скважин, консервации воды, объемов отбираемой воды на соответствующие виды анализа, характера емкости, времени хранения проб, условий транспортировки и др.); б) стадию анализа (чувствительности методов и квалификацию аналитиков). В общем же случае достоверность метода определяется признанным его теоретическим обоснованием и репродуктивностью (повторимостью).

Информативность гидрогеохимических материалов — это содержание и состояние сведений о химическом составе подземных вод

в исчерпывающем объеме с рациональной точки зрения, что обеспечивает аргументированное решение задач, определяемое набором контролируемых компонентов, обоснованным с позиции природных и техногенных обстановок и геохимических свойств компонентов, определяющих их миграционные свойства и токсичность. Информативность сочетается с понятием представительности (репрезентативности) — тождественного соответствия цели масштабу и методу. Здесь же целесообразно анализировать и точность оценок.

Сложившаяся ситуация с исследованиями по проблеме оценки формирования и распространения подземных вод различного состава и качества не обеспечивает в должной степени требуемые достоверность и эффективность. Достаточно указать на отсутствие единой методики гидрогеохимического мониторинга на территории Российской Федерации, включающей методические рекомендации по полному комплексу наблюдений за атмогидролитосферой в естественных и техногенных условиях, а также за техногенными возбудителями; по обработке и интерпретации полученной информации, обеспечивающим выбор эколого-экономических показателей эффективного управления техногенными процессами. В подземных водах контролируется далеко не полный необходимый набор компонентов, особенно микрокомпонентов, органических веществ, показателя окислительно-восстановительного потенциала вод. Практически не контролируются по составу источники загрязнения, зона аэрации, почвы и др. Отсутствует единая система наблюдений, обеспечивающая оценку состояния и прогноз естественных и техногенных процессов, а также контроль для предпроектных технологических эксплуатационных и других этапов работ. Контроль в целом, особенно в отраслевых условиях, осуществляется: на различных организационно-методических основах наблюдательной сети; аналитико-инструментальной и базы данных; методических приемах обработки информации и ее интерпретации.

Естественно-исторический анализ является основой методики региональных и локальных гидрогеохимических оценок, устанавливает формирование состава и качества подземных вод в природных условиях, принимаемых за природный гидрогеохимический фон, и определяет методологическую направленность оценки техногенного воздействия на геохимическое состояние подземных вод на период исследования по отношению к их природному фону.

Естественно-исторический анализ является одним из главных приемов определения природных гидрогеохимических условий, т.е. природного фона как естественного гидрогеохимического со-

стояния участка территории, водоносного комплекса и т.д., принимаемого за уровень, от которого отсчитываются характер и степень техногенного изменения состава и качества подземных вод. Основой определения фоновых (природных) значений гидрогеохимических показателей является анализ природных геолого-гидрогеологических и ландшафтно-климатических условий, позволяющий установить геохимический облик подземных вод, соответствующий этим условиям; в случае несоответствия — химический состав подземных вод носит черты аномальности, наиболее часто связанной с техногенным влиянием.

Достоверно установленные природные фоновые условия представляют собой устойчивую во времени и пространстве глобальную генетическую модель подземных вод. Ее несоответствие природной модели в целом наиболее точно отражает наличие и характер источников техногенного воздействия на природные среды, т.е. выявления, по возможности, всех видов техногенных нарушений, процессов и явлений.

Естественно-исторический анализ факторов и процессов формирования гидрогеохимических природных и техногенных обстановок выполняется посредством исследования комплекса обязательных методических приемов: гидрогеохимического классифицирования, картирования, систематизации гидрогеохимического режима, количественной оценки природного фона и техногенных аномалий по составу и качеству подземных вод.

Приемы гидрогеохимического классифицирования и картирования выполняются поэтапно и взаимосвязаны. Результаты классифицирования являются основой картирования. Главные показатели классифицирования, используемые как обязательные при картировании, — это минерализация подземных вод и их компонентный состав. Уровень минерализации подземных вод классификационных групп обуславливает границы распределения вод разного состава, качества и генезиса. То есть картируются гидрогеохимические обстановки природного формирования и формирования в условиях загрязнения, установленные посредством классифицирования. Главным фактором пространственного отражения границ распределения вод различного состава, качества и генезиса, т.е. проведения изолиний минерализации, является структура потоков. В естественных фоновых условиях изолинии минерализации повторяют конфигурацию гидродинамических границ потоков, гидроизогипс, гидроизопьез, отражая основной закон гидрогеохимии о закономерном повышении минерализации подземных вод в направлении

фильтрационного потока. В условиях регионального загрязнения эта закономерность остается в силе, но в зависимости от характера положения источника загрязнения минерализация загрязненных вод либо возрастает в направлении потока, либо уменьшается. Первый случай выполняется в условиях приуроченности к площадному источнику загрязнения; второй — к точечному. Точечным источникам загрязнения отвечает формирование незначительных по площади аномалий загрязнения.

В преобладающем числе случаев пространственные границы, отражающие распределение подземных вод различного качества в естественных и техногенных условиях, согласуются с гидродинамическими структурными обстановками. В техногенных условиях изменяются гидродинамические обстановки, и им следуют изменения в гидрогеохимических обстановках. В отдельных случаях распределение некоторых компонентов качества не соответствует гидрогеодинамическому состоянию водоносного комплекса. Так, например, границы распределения подземных вод с углекислотной агрессивностью в природных условиях будут зависеть от границ распространения почв, богатых «органикой», окисление которой обеспечивает повышение содержания углекислого газа в подземных водах.

Из статистических приемов в дополнение к классифицированию и картированию часто используются те, с помощью которых характеризуются фоновые и аномальные концентрации компонентов подземных вод. Это гистограммы, статистико-генетические приемы и др. Особое внимание уделяется статистико-генетическим приемам, которые, в отличие от других статистических приемов, позволяют оценить фоновые и аномальные значения компонентов для каждого пункта опробования.

Графические и картографические приемы необходимы при исследовании режима загрязненных подземных вод, оценках ущерба подземных вод от загрязнения, решении рискованных задач. Графические приемы помогают устанавливать характер взаимосвязи подземных вод разных водоносных комплексов и т.д.

Классификационные графики используются для выявления показателей формирования химического состава подземных вод на макро- и микроуровнях. Макроуровневые показатели свидетельствуют о направленности процессов, т.е. о привносе или удалении компонентов из подземных вод в соответствии с возрастанием минерализации. Возрастание минерализации является обобщенным показателем загрязнения. Компоненты, привносимые в воды в условиях, не соответствующих естественным, являются компонен-

гами-загрязнителями. Удаляемые из вод компоненты могут быть представлены компонентами-загрязнителями или компонентами естественного формирования: например, в случае осаждения из вод слаборастворимых соединений (карбонатов кальция, магния и др.) при возрастании температуры.

На микроуровне обычно выявляется конкретный характер процессов. Для этого анализируются природные и техногенные факторы формирования и соответствие им характера распределения компонентов подземных вод на классификационной диаграмме, где горизонтальная шкала отражает положение о возрастании минерализации в направлении фильтрационного потока.

2.2.3. Гидрогеохимическое классифицирование

2.2.3.1. Анализ существующих гидрогеохимических классификаций

К настоящему времени сложилась непростая ситуация с гидрогеохимическим классифицированием. Опубликовано значительное число классификаций, одни из которых позволяют классифицировать подземные воды по минерализации, другие — только по компонентному составу. Это существенно противоречит правилам классифицирования, особенно классифицирования по химическому составу, который характеризуется взаимосвязанными и взаимообусловленными параметрами: минерализацией и слагающими ее компонентами.

Одним из первых исследователей, предложивших классификацию водных природных растворов, в том числе *подземных и поверхностных вод по минерализации*, был В.И. Вернадский. Его классификация на сегодняшний день включает четыре группы вод, характеризующихся как: а) пресные с минерализацией $< 1,0$ г/дм³; б) солоноватые — от 1,0 до 10,0 г/дм³; в) соленые — от 10,0 до 50,0 г/дм³; г) рассолы $> 50,0$ г/дм³ (последователями В.И. Вернадского величины минерализации выделенных им групп были детализированы и частично изменены).

Выбор классификации в каждом конкретном случае определяется целями, задачами и масштабностью исследований. Так, при обзорных и мелкомасштабных исследованиях следует пользоваться классификацией Вернадского и близкими к ней; при крупномасштабных — более детальными.

При выполнении специальных работ в особо сложных районах возникает необходимость разработки новой классификации. В этом случае граничные значения минерализации подземных вод выявля-

ются с помощью статистики (путем построения гистограмм и разграничения посредством регрессионного анализа) и др.

Классификации по компонентному составу делятся на две категории: региональные и общие.

Региональные классификации для характеристики компонентного состава подземных вод составляются по конкретным материалам регионов. Многие региональные классификации разрабатываются с помощью статистических методов (Брусиловский, 1966; Севастьянов, 1976 и др.). Разработка региональной классификации — трудоемкая задача, и ее составление необходимо только при решении сугубо специальных вопросов в специфических гидрогеохимических условиях. При стандартных условиях затраты на составление региональной классификации не оправданы.

Классифицирование подземных вод по компонентному составу с помощью *общих классификаций* основано на комбинировании компонентов. Выделяются две группы общих классификаций по характеру комбинирования компонентов: а) посредством использования специальных коэффициентов; б) путем оценки сочетаний между компонентами.

К общим классификациям, основанным на *комбинировании компонентов с помощью коэффициентов*, относятся классификации Н.С. Курнакова (1917), В.А. Сулина (1945), О.А. Алекина (1946), С.А. Дурова (1948), М.Г. Валяшко (1958), А.Н. Павлова и В.Н. Шемякина (1967) и др. В качестве примера приводится классификация Алекина.

В классификации Алекина по преобладающему аниону воды делятся на классы: гидрокарбонатный, сульфатный и хлоридный. Каждый класс по преобладающему катиону — на группы кальциевую, магниевую и натриевую. Каждая группа исходя из значений коэффициентов — на разное число типов. Общее число типов — четыре.

I. $r\text{HCO}_3^- > r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}$ (r — мг-экв/дм³). Воды содержат характерные гидрокарбонат-ион и натрий.

II. $r\text{HCO}_3^- > r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+} < r\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$. Характерными компонентами вод этого типа являются гидрокарбонат и сульфат натрия.

III. $r\text{HCO}_3^- + r\text{SO}_4^{2-} < r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}$ или $r\text{Cl}^- > r\text{Na}^-$. Специфические компоненты вод этого типа — хлориды кальция и магния.

IV. $r\text{HCO}_3^- = 0$. Характерные компоненты — сульфаты и хлориды натрия, кальция и магния.

Количественно компоненты, характеризующие типы подземных вод, по результатам рассматриваемого классифицирования выра-

жены незначительно. Другими словами, содержание компонентов, определяющих тот или иной геохимический тип воды, малы и не отражают реальный ее состав. Использование вышперечисленных классификаций возможно в исключительных случаях, когда необходимо выявить специфические компоненты, отражающие даже в незначительных концентрациях особенности состава подземных вод.

Общие гидрогеохимические классификации, основанные на *сочетании между компонентами*, имеют широкое распространение. Они используются для систематизации подземных вод по компонентному составу независимо от генезиса, условий залегания, принадлежности к территориям с различными геолого-гидрогеологическими условиями и ландшафтно-климатическими обстановками.

Общими принципами типизации подземных вод по классификациям данного вида являются: а) наименование составу вод присваивать по минералообразующим (главным) компонентам, составляющим минерализацию подземных вод; б) для оценки компонентного состава пользоваться эквивалент-процентной формой.

Эти общие классификации делятся на три подгруппы: а) сочетания компонентов по их соотношению; б) на основе количественных критериев; в) комплексно.

В классификациях подгруппы «а» соотношение компонентов устанавливается по относительному преобладанию. В простейших классификациях преобладающими являются обычно один анион и один катион (например, гидрокарбонатная кальциевая вода имеет соотношение $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$, $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+$); в более сложных классификациях компонентный состав подземных вод отражается с разной степенью детальности.

Простейшие классификации можно использовать для ориентировочной оценки состава вод; из детальных — не следует пользоваться теми, которые содержат немисливо большое (для природных и техногенных условий) число наименований (например, 225 и т.п.).

Исходя из классификаций, основанных на количественном критерии («б»), в наименование воды входят компоненты, превышающие условную граничную величину, исчисляемую эквивалент-процентами. Различными авторами предложены разнозначные уровни граничной величины, например В.А. Приклонским — 75, 75–50, 50–25, 25 экв.%, С.А. Щукаревым — 25 экв.% и др.

Существенные расхождения в предполагаемых авторами величинах количественных критериев свидетельствуют об их слабой обоснованности, поэтому работа с данным видом классификаций не является результативной.

В комплексной классификации, предложенной К.Е. Питьевой, используются одновременно приемы сочетаний компонентов и количественных критериев.

2.2.3.2. Обоснование методики эколого-гидрогеохимического классифицирования (классификация Питьевой)

Задачи эколого-гидрогеохимического классифицирования:

- установление химического состава подземных вод;
- разграничение компонентов состава подземных вод на формирующиеся в естественных и техногенных условиях;
- оценка соотношений компонентов естественного и техногенного формирования относительно минерализации и оценка процессов их распределения;
- количественная оценка загрязнения подземных вод;
- оценка качества подземных вод для хозяйственно-питьевого использования.

При классифицировании подземных вод по химическому составу выделяют гидрогеохимические типы, классы, группы.

Тип — наиболее крупная классификационная единица. Выделяется по преобладающим ионам; отдельно по анионам и катионам как компонентам, часто имеющим самостоятельные пути формирования. Всего исходя из стандартного макрокомпонентного состава вод распространены шесть типов: гидрокарбонатный, сульфатный, хлоридный, кальциевый, магниевый, натриевый.

В пределах каждого типа по соотношению между ионами выделяют по два класса ($\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ и $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$; $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ и $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ и т.д.); всего 12 классов.

Завершается классифицирование детальными таксономическими единицами — группами и подгруппами. Группы выделяют исходя из содержания в воде анионов и катионов в концентрациях, превышающих 10 экв.%, а подгруппы — в концентрациях от 5 до 10 экв.% и обозначают буквой «п» (повышенное содержание при общей сумме ионов = 100%). Указанные значения концентраций соответствуют 100% общей минерализации подземных вод и сопоставимы с любыми водами планеты Земля; они получены в результате исследования закономерностей количественных и качественных изменений в компонентном составе различных видов вод атмогидролитосферы, формирующихся в естественных и техногенных условиях. Состав воды записывают в виде формулы из химических индексов, располагающихся в порядке от анионов к катионам в пределах каждой

группы в порядке убывания концентраций. Например, HCO_3^- ClCaNa с содержанием, экв.‰: HCO_3^- — 25; Cl^- — 15; Ca^{2+} — 30; Na^+ — 13. Вода гидрокарбонатно-хлоридная кальциево-натриевая. В практической работе достаточно именовать подземную воду категориями «группа» и «подгруппа», так как из их характеристики логично следует принадлежность воды к типам и классам.

Классифицирование массива данных

При этом строят диаграмму зависимости распределения компонентов от минерализации; минерализацию (в г/дм³) откладывают по горизонтальной оси диаграммы, компоненты (в экв.‰) — по вертикальной.

Линией, проведенной параллельно горизонтальной оси минерализации и соответствующей 10 экв.‰ вертикальной шкалы, отсекают компоненты с содержанием в воде более 10 экв.‰, которые образуют гидрогеохимические группы; линией, соответствующей 5 экв.‰, отсекают компоненты с содержанием от 5 до 10 экв.‰, которые образуют подгруппы.

Компоненты с содержанием менее 5 экв.‰ в наименование состава воды не включаются как не содержащие значимой гидрогеохимической информации. По точкам пересечения компонентов с горизонтальными прямыми, составляющими 10 и 5 экв.‰, устанавливают диапазоны минерализации для групп и подгрупп. Для типов и классов диапазоны минерализации определяют по точкам пересечения кривых распределения анионогенных и катионогенных компонентов друг с другом.

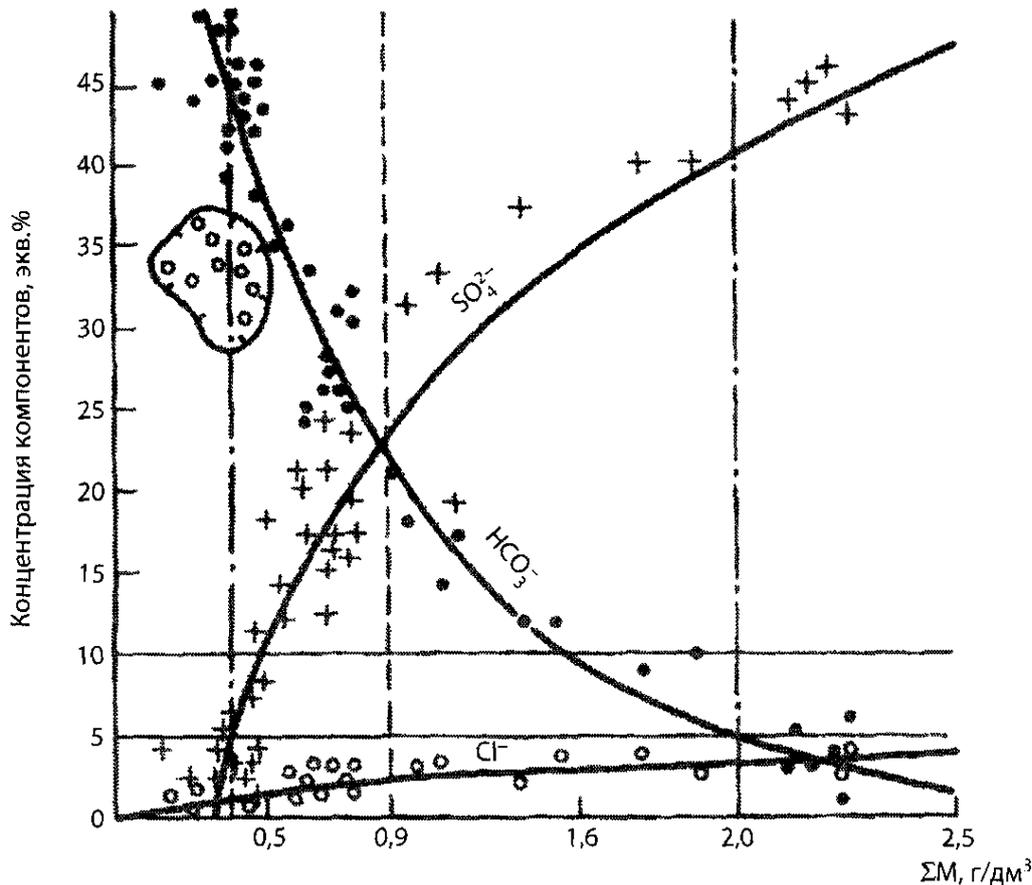
Через все точки опускают вертикальные линии на шкалу минерализации; эти линии являются границами подземных вод с конкретным компонентным составом и минерализацией.

Для данной методики классифицирования составлена программа работы ЭВМ, в основу которой положено построение аппроксимационных зависимостей фактических данных методом наименьших квадратов (МНК). Для любой пары показателей может быть найдена аппроксимирующая зависимость.

Основные положения построения зависимостей заключаются в преобразовании координат, позволяющем наилучшим образом объединить точки, характеризующие состояние изучаемых показателей в воде одиночного водопункта в виде кривых распределения. Для этого используют простой перебор преобразований координат. При анализе исходных данных не рекомендуется исключать из работы точки со значениями, не соответствующими совокупности. Эти

точки следует рассматривать на фоне совокупности как аномальные, сформированные под влиянием инородных условий (загрязнение и др.). В пределах совокупности программой выполняется построение всех полученных зависимостей в единой системе координат. На их основе выделяют гидрогеохимические типы, классы, группы, подгруппы.

Результаты оформляются в виде классификационной диаграммы (рис. 2.1).



Тип	HCO ₃ ⁻			SO ₄ ²⁻		
Класс	HCO ₃ > SO ₄ ²⁻			SO ₄ ²⁻ > HCO ₃		
Группа	HCO ₃		HCO ₃ SO ₄	SO ₄ HCO ₃		SO ₄
ΣM, г/дм ³	<0,5		0,5-0,9	0,9-1,6		>1,6
Подгруппа	HCO ₃	HCO ₃ пSO ₄	HCO ₃ SO ₄	SO ₄ HCO ₃	SO ₄ пHCO ₃	SO ₄
ΣM, г/дм ³	<	0,4-0,5	0,5-0,9	0,9-1,6	1,6-2,4	>2,4

Рис. 2.1. Пример гидрогеохимического классифицирования подземных вод

В результате классифицирования массива данных химический состав подземных вод характеризуется одновременно по минерализации и компонентному составу в пределах диапазонов минерализации, соответствующих типам, классам, группам, подгруппам.

Порядок записи компонентного состава воды:

1) индексами компонентов:

а) от анионогенных к катионогенным;

б) в пределах анионогенных и катионогенных компонентов от больших содержаний к меньшим (например, ClSO_4NaCa);

2) словами: с окончаниями в словах, характеризующих анионогенные и катионогенные компоненты (например, хлоридно-сульфатные натриево-кальциевые).

Затем решается задача разграничения полученных группировок по типу формирования вод — природным и техногенным путем:

- в случае природного формирования вод в выделении гидрогеохимических группировок участвуют компоненты, характер распределения которых на классификационной диаграмме соответствует климатолого-ландшафтным, литолого-геохимическим, гидрогеодинамическим и другим природным условиям рассматриваемого водоносного комплекса;
- в случае техногенного формирования, например, загрязнения распределение одного конкретного (двух, трех и т.д.) компонента отображают двумя (для каждого компонента) кривыми, соответствующими природным и техногенным условиям (рис. 2.2). С учетом первой кривой выделяют группы вод природного формирования, второй — техногенного.

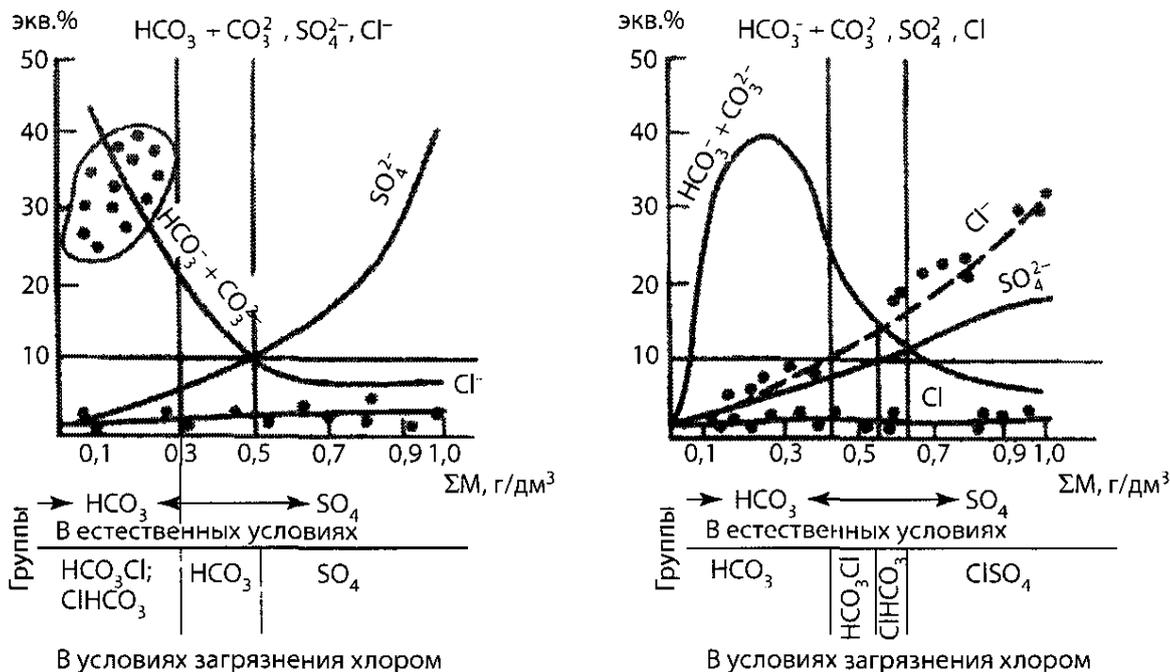


Рис. 2.2. Примеры распределения компонентов и минерализации в подземных водах природно-техногенных систем

Часто компоненты техногенного формирования на регрессионной диаграмме имеют рассредоточенное относительно минерализации распределение (см. рис. 2.2), которое, так же как и линейное распределение, фиксирует изменения в компонентном составе природных вод.

Решение задачи по оценке процессов формирования компонентов в подземных водах посредством классифицирования осуществляются путем отнесения компонентов к категориям: 1) с возрастающим содержанием относительно минерализации; 2) с убывающим содержанием относительно минерализации; 3) с неизменяющимся содержанием. Компоненты первой категории привносятся в подземные воды; второй — выводятся из подземных вод; третьей — не участвуют в процессах формирования состава воды.

Конкретный набор процессов зависит от соотношения составов компонентов в источниках (породах, газах и т.д.) и подземных водах конкретных миграционных систем. Такой подход к решению данной задачи обуславливается тем, что шкала минерализации классификационной диаграммы отражает направленность фильтрационного потока подземных вод, так как соответствует одному из главных законов гидрогеохимии, трактующему, что возрастание минерализации подземных вод осуществляется в направлении фильтрационного потока; это возможно, так как процессы привноса компонентов в воду количественно более значимы по сравнению с процессами вывода компонентов из подземных вод. Обоснование: растворимость первых выше, чем вторых.

Приуроченность к гидрогеологическим условиям тех или иных процессов и сформированных в результате вод следует из их соотношения с минерализацией, которая является функцией фильтрационного потока подземных вод. На классификационной диаграмме воды с минимальным диапазоном минерализации и соответствующим ему компонентным составом и характером процессов представлены водами областей инфильтрационного атмосферного питания; с максимальным диапазоном минерализации — водами областей разгрузки и близкими к ним; с промежуточными — водами областей транзита.

Таким образом, классифицирование позволяет получить сведения: о закономерностях распределения компонентов в подземных водах региона при возрастании их минерализации, а, следовательно, в направлении фильтрационного потока; физико-химических процессах формирования компонентов воды; качественных и количественных изменениях в составе вод под техногенной нагрузкой.

Путем сравнения компонентного состава подземных вод техногенного и природного формирований получают количественную оценку техногенного воздействия на химический состав подземных вод региона; например, вычтя из концентрации Cl^- подземных вод природно-техногенного формирования концентрацию Cl^- вод природных, оцениваем загрязнение вод хлоридами.

Классифицирование подземных вод по качеству

Оценку качества подземных вод при классифицировании осуществляют с учетом ПДК по хлоридам, сульфатам, азотным соединениям, микрокомпонентам, а также жесткости и агрессивности. Строят диаграммы (для каждого компонента качества) или единую диаграмму зависимости компонентов качества от минерализации исследуемого водоносного горизонта или региона. Минерализацию откладывают на горизонтальной шкале (в г/дм^3), компоненты качества — на вертикальной в соответствующих единицах (содержание микрокомпонентов и компонентов Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ — в мг/дм^3 ; жесткость — в мг-экв/дм^3 ; сульфатная и углекислотная агрессивность — в мг/дм^3 ; карбонатная агрессивность — в мг-экв/дм^3 и т.д.). Параллельно шкале минерализации проводят линии в соответствии с величинами ПДК компонентов качества, отмеченными на вертикальной шкале. Строят кривые распределения компонентов качества в зависимости от минерализации.

Через точки пересечения кривых распределения компонентов качества с горизонтальными линиями на шкалу минерализации опускают вертикальные прямые, ограничивающие диапазоны минерализации, в пределах которых подземные воды не ухудшены и ухудшены по соответствующим показателям качества (рис. 2.3).

Исходя из полученных диапазонов минерализации и используя результаты классифицирования подземных вод по химическому составу, устанавливают общий состав подземных вод ухудшенного качества и их положение относительно распределения макросостава подземных вод.

2.2.4. Эколого-гидрогеохимическое картирование

2.2.4.1. Составление общей эколого-гидрогеохимической карты

Эколого-гидрогеохимическое картирование позволяет установить закономерности распространения подземных вод различного состава и качества; характер их изменения; физико-химические процессы преобразования состава и качества вод; участие природных и техно-

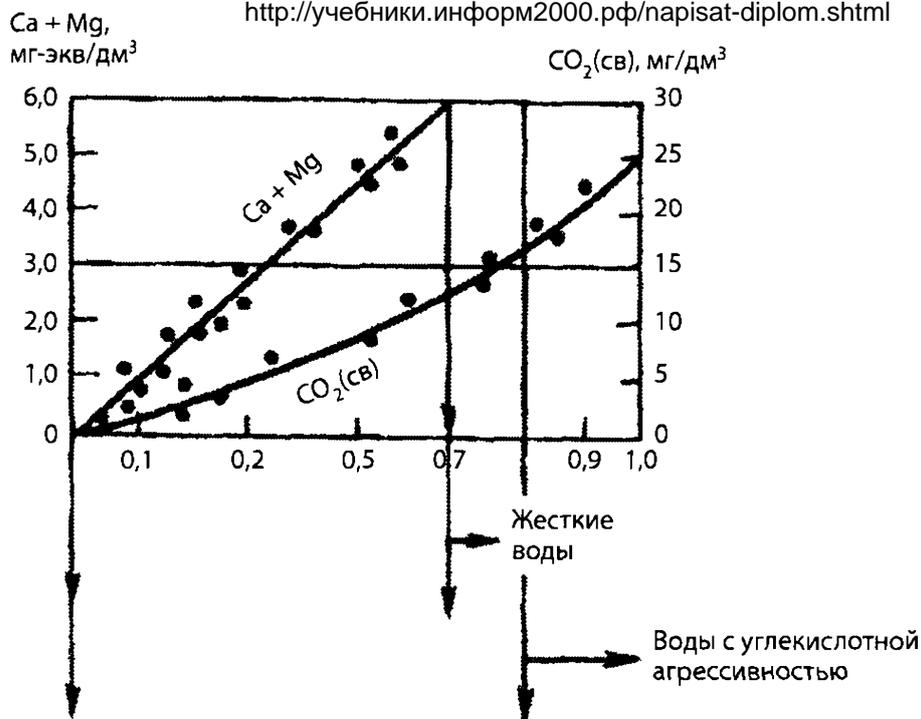


Рис. 2.3. Разграничение подземных вод по компонентам качества

генных факторов в происходящих изменениях; прогнозную тенденцию изменений; взаимосвязь гидрогеохимических процессов с гидрогеодинамической обстановкой в естественных и нарушенных условиях.

Большое внимание уделяют изучению: 1) литолого-геохимического, гидролого-гидрогеологического, геофильтрационного, гидрогеохимического природного фонов; 2) качественной и количественной характеристик компонентов-загрязнителей в очагах загрязнения; 3) типов гидролого-гидрогеологического режима в природной и техногенной обстановках; 4) процессов распространения загрязнений и их пространственно-временного прогноза; 5) природоохранных рекомендаций с указанием качества подземных и поверхностных вод, предназначенных для водоснабжения, и поверхностных — для водоснабжения и рыбоводства.

Гидрогеохимическое картирование в целях исследования загрязнения подземных вод предусматривает составление общей эколого-гидрогеохимической карты и серии специализированных карт. К последним относятся карты качества, мощности пресных подземных вод.

Главные вопросы при составлении эколого-гидрогеохимической карты: 1) выбор элементов картирования; 2) способы показа элементов; 3) правила картирования.

Элементы картирования. Делятся на две категории: прямые и косвенные.

Прямые элементы картирования представлены минерализацией, макрокомпонентным составом; в зависимости от дополнительных ищач — также микрокомпонентами, органическими веществами, газовым составом.

Косвенные — литолого-минералогическим составом пород, гидрогеоэкологическими обстановками (области питания, транзита, разгрузки), характером фильтрационного потока в виде гидроизогипс, гидроизопьез.

Способы показа элементов картирования. Минерализацию подземных вод картируют в виде изолиний. Величины минерализации для обозначения изолиний минерализации подземных вод берут из результатов классифицирования. Ими являются граничные значения диапазонов минерализации, полученные при классифицировании. Макрокомпонентный состав подземных вод на карте показывают в виде анионно-катионных групп и подгрупп (рис. 2.4). Принадлежность к анионно-катионным группам и подгруппам заимствуют из результатов классифицирования вод.

Литолого-минеральный состав пород наносится на карту с помощью типовых колонок. Колонки масштабные, на них фиксируется мощность литологических разностей пород. Площади с относительно однородным характерным литолого-минеральным составом пород оконтуривают. В характеристике пород учитывают их генезис (морские, континентальные, переходные и др.) и постседиментационные изменения (рис. 2.5).

Правила картирования. Предусматривают точность картирования, которая обеспечивает достоверность границ и изолиний, что позволяет возможно максимально воспроизвести реальные гидрогеохимические условия картируемого объекта.

Обоснованием для построения изолиний минерализации подземных вод (и границ подземных вод с различным компонентным составом) служат региональные гидродинамические условия. В основу картирования изолиний минерализации закладывается закономерное ее увеличение в направлении движения подземных вод, что обуславливается возрастанием в этом направлении времени протекания физико-химических процессов поступления компонентов в воды в данных геолого-гидрогеологических условиях. Поэтому конфигурация изолиний минерализации повторяет конфигурацию гидроизогипс или гидроизопьез; изолинии с максимальными значениями оконтуривают области питания вод, а с минимальными — области дренирования (рис. 2.6). Общий вид гидрогеохимической карты представлен на рис. 2.7.

Условный знак	Тип	Класс	Группа	Формула состава
	Гидрокарбонатный	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	Гидрокарбонатная кальциевая	HCO_3Ca
			Гидрокарбонатная магниевая	HCO_3Mg
			Гидрокарбонатная натриевая	HCO_3Na
			Гидрокарбонатно-сульфатная кальциевая	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{Ca}$
			Гидрокарбонатно-сульфатная магниевая	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{Mg}$
			Гидрокарбонатно-сульфатная натриевая	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{Na}$
		$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	Гидрокарбонатно-хлоридная кальциевая	HCO_3ClCa
			Гидрокарбонатно-хлоридная магниевая	HCO_3Mg
			Гидрокарбонатно-хлоридная натриевая	HCO_3Na
	Сульфатный	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$	Сульфатно-гидрокарбонатная кальциевая	$\text{SO}_4\text{HCO}_3\text{Ca}$
			Сульфатная кальциевая	SO_4Ca
		Сульфатная натриевая	SO_4Na	
		Сульфатно-хлоридная натриевая	SO_4ClNa	
	Хлоридный	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$	Хлоридно-гидрокарбонатная кальциевая	ClHCO_3Ca
			Хлоридно-гидрокарбонатная натриевая	ClHCO_3Na
		$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$	Хлоридно-сульфатная натриевая	ClSO_4Na
			Хлоридная натриевая	ClNa

Рис. 2.4. Пример условных знаков, используемых для картирования анионно-катионного состава подземных вод

Условный знак	Процесс	Породы и минералы
	Конкрециообразование	Ca кальцита Pr пирита V вивианита Fe гидроксидов железа
	Растворение	h галита p гипса, ангидрита
	Выщелачивание	Ca кальцита d доломита Sr сидерита
	Гидролитическое разложение	f полевых шпатов P, ap фосфатов (апатита, фторапатита, хлорапатитов)
	Окисление	Pr пирита
	Катионный обмен	gl глауконита mn монтмориллонита
	Биохимические процессы	C _{орг} торфообразование
	Газообразование	CO ₂ углекислого газа CH ₄ метана H ₂ S сероводорода NH ₄ ⁺ аммония
	Карстообразование	карбонатного сульфатного

Рис. 2.5. Пример условных знаков наиболее распространенных постседиментационных изменений пород

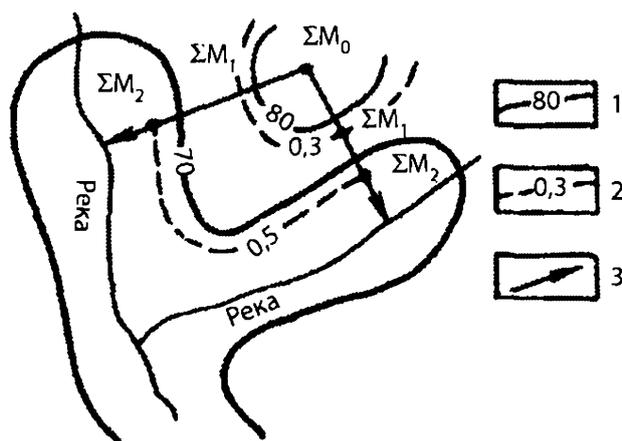


Рис. 2.6. Повторение изолиниями минерализации гидроизогипс:

- 1 — гидроизогипса, абс. м; 2 — изолиния минерализации, г/дм³;
 3 — поток подземных вод; ΣM_0 — минерализация начальная;
 ΣM_1 и ΣM_2 — минерализация в точках 1 и 2 по потоку

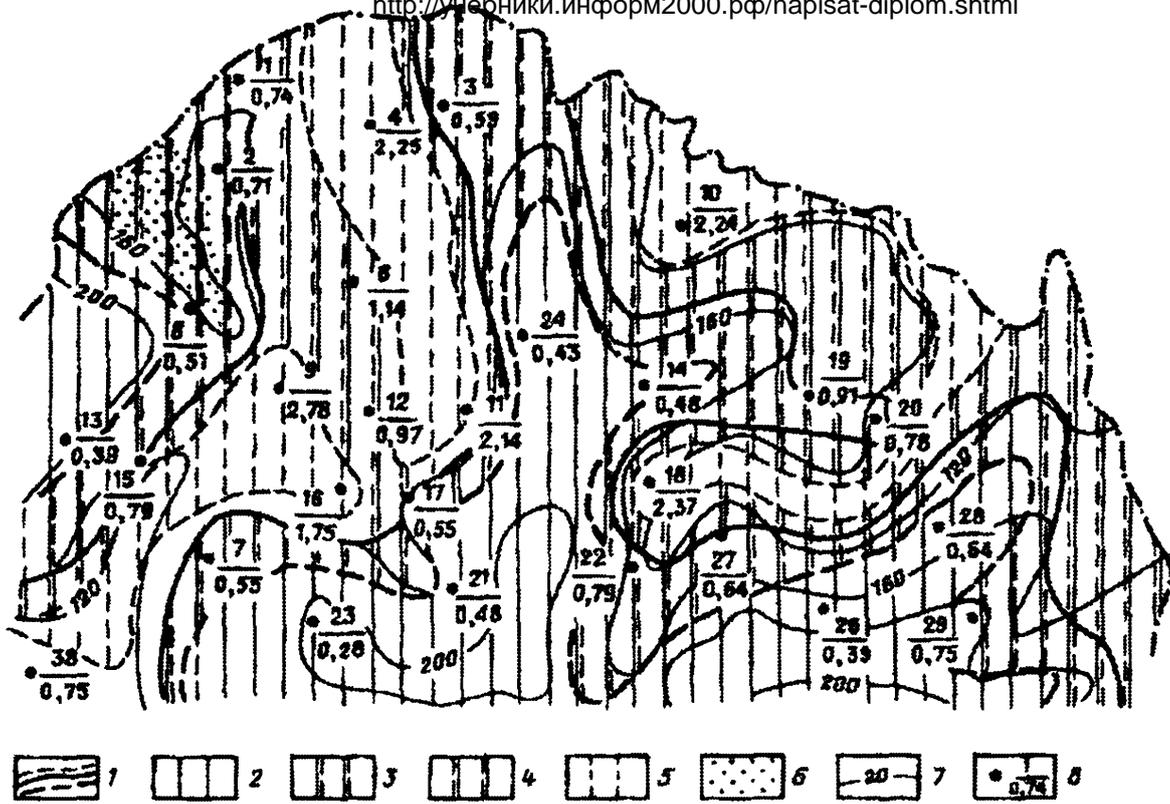


Рис. 2.7. Гидрохимическая карта:

1 — изолинии минерализации 0,5; 0,9; 1,6 г/дм³ соответственно; компонентный состав подземных вод естественного формирования; 2 — HCO₃Ca; 3 — HCO₃SO₄Ca; 4 — SO₄HCO₃Ca; 5 — SO₄Ca; 6 — воды, загрязненные хлоридами; 7 — гидроизогипса, абс. м.; 8 — скважина (в числителе — номер, в знаменателе — минерализация, г/дм³)

На этот общий фон распределения минерализации подземных вод накладываются более детальные изменения минерализации (частного характера), вызываемые фильтрационной неоднородностью пород, выражаемой через разнообразие скоростей фильтрации вод и др. Относительно пониженные скорости фильтрации подземных вод способствуют возрастанию времени протекания процессов массообмена и увеличению минерализации вод.

Вследствие влияния скоростей фильтрации на формирование минерализации подземных вод изолинии минерализации в той или иной степени отклоняются от конфигурации гидроизогипс (изопьез).

Аномально повышенные величины минерализации подземных вод могут формироваться на отдельных участках в пределах водоразделов или верхних частей их склонов при наличии слабопроницаемых пород, перекрывающих картируемый водоносный комплекс.

Минерализация воды повышается вследствие поступления в картируемый водоносный комплекс веществ из перекрывающих глинистых отложений (рис. 2.8).

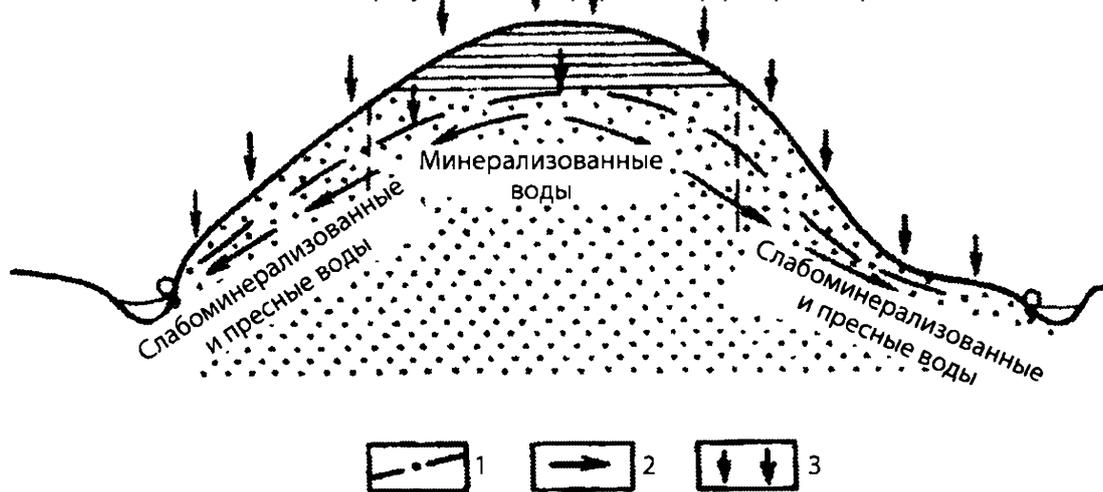


Рис. 2.8. Формирование минерализованных подземных вод при их атмосферном питании через толщу глин:

1 — уровень подземных вод; 2 — направление движения подземных вод;
3 — атмосферное питание

Газовый состав подземных вод определяется в особых случаях, например, когда сероводород и метан рассматриваются как показатели влияния на подземные воды зоны интенсивного водообмена нефтегазовых залежей и др. На карте газовый состав удобно показывать с помощью соответствующих ему индексов (H_2S и др.) внутри фигурных границ.

Органические вещества и микрокомпоненты отмсчаются на участках повышенных содержаний, оконтуриваемых фигурными границами.

Основной фактический материал на общей гидрогеохимической карте представлен скважиной и другими водопунктами со сведениями: по пьезометрическому уровню подземных вод; температуре вод; минерализации; компонентному составу в виде анионно-катионных формул. Скважины (водопункты) наносятся на карту все или только опорные.

К общей гидрогеохимической карте составляется *пояснительная записка*, включающая: характеристику минерализации подземных вод — пределы колебаний, положение вод с максимальной и минимальной минерализацией; ее связь с фильтрационным потоком; изменения с глубиной; характеристику компонентного состава вод; характер и направленность изменений; приуроченность подземных вод различной минерализации и компонентного состава к литолого-минералогическим типам пород и гидрогеологическим обстановкам; генезис состава подземных вод.

2.2.4.2. Составление карты мощности зоны пресных подземных вод

При картировании мощности зоны пресных подземных вод решаются следующие задачи:

а) выявление скважин с минерализацией вод в $1,0 \text{ г/дм}^3$ и оконтуривание участков водоносных горизонтов (комплексов) с отсутствием пресных вод;

б) определение мощности пресных подземных вод в остальных исследуемых водопунктах;

в) определение мощности зоны пресных вод на исследуемой территории в целом.

При составлении карты мощности зоны пресных вод необходимо ориентироваться на то, что в каждом конкретном случае мощность пресных вод определяется гидрогеологическими условиями всей серии горизонтов верхней гидродинамической зоны.

Границу, отделяющую подземные воды с минерализацией менее $1,0 \text{ г/дм}^3$ от подземных вод с минерализацией более $1,0 \text{ г/дм}^3$, возможно установить, если в исследуемом водоносном комплексе есть достаточное число скважин с замерами минерализации вод по двум интервалам в каждой скважине; значения минерализации вод в одном интервале должны быть менее 1 г/дм^3 , а в другом — более 1 г/дм^3 . С помощью вертикальной интерполяции этих значений выявляется положение в разрезе каждой скважины подземной воды с минерализацией 1 г/дм^3 . Однако из практики гидрогеологических работ следует, что с таким фактическим материалом скважин недостаточно. Поэтому для определения местоположения границы между пресными и минерализованными водами используются эмпирические зависимости изменения минерализации с глубиной. Величина минерализации $1,0 \text{ г/дм}^3$ в разрезе устанавливается с помощью эмпирических формул, применяемых к фиксированным пунктам опробования с заданными значениями минерализации и глубины отбора проб. Чаще всего этот способ определения положения подземных вод с минерализацией 1 г/дм^3 основывается на предположении о равномерном изменении компонентов в подземных водах с глубиной. При этом, если принять минерализацию инфильтрующихся атмосферных осадков, т.е. минерализацию воды на поверхности земли, равной нулю, тогда по одному значению минерализации опробуемой скважины рассчитывается градиент ее изменения в вертикальном разрезе и по нему определяется та глубина, на которой значение минерализации равно $1,0 \text{ г/дм}^3$. Такой способ определения границы распро-

сгланения пресных подземных вод в вертикальном разрезе даст объективные результаты только в случае обоснованно выявленной линейной зависимости изменения минерализации вод с глубиной.

В большинстве работ, рассматривающих описанный подход, слабо обоснованы предпосылки о равномерном изменении минерализации вод водоносных комплексов зоны интенсивного водообмена с глубиной.

Уровень залегания вод с минерализацией в 1 г/дм^3 лучше всего определяется в скважинах по двум интервалам опробования: а) менее и б) более 1 г/дм^3 . Минерализация в 1 г/дм^3 находится способом вертикальной графической интерполяции. Скважин, характеризующихся известными глубинами залегания вод с минерализацией 1 г/дм^3 , очень мало (или же они вовсе отсутствуют), поэтому мощность пресных вод определяют специфически:

а) составление пропорции по соотношению минерализации воды, замеренной на глубине H (ΣM_A), с минерализацией воды в 1 г/дм^3 на неизвестной глубине x от поверхности земли (ΣM_1):

$$\begin{array}{l} \text{а)} \qquad \qquad \text{б)} \\ H - \Sigma M_A; \\ x = \frac{H \Sigma M_1}{\Sigma M_A}. \\ x - \Sigma M_1; \end{array}$$

б) решение пропорции по определению глубины залегания (от поверхности вод земли) воды x с минерализацией в 1 г/дм^3 ;

в) расчет мощности пресных вод: $y = x - H$, где H — глубина опробования, м.

Полученные *точечные данные* о мощности пресных подземных вод (с минерализацией от $0,1$ до $1,0 \text{ г/дм}^3$) картируют путем построения изопахит. Шаг изопахит можно оценить либо по формуле

$$(x_{\max} - x_{\min}) / (1 + 32 \ln N),$$

где числитель — диапазон мощности пресных вод; N — число наблюдений, либо путем подбора величин шага таким образом, чтобы можно было довольно детально отразить закономерности распространения пресных вод различной мощности и при этом не перегрузить карту.

Построение изопахит осуществляется посредством линейной интерполяции полученных данных. Для правильной ориентации изопахит пресных подземных вод необходимо учитывать региональные

гидрогеологические условия, а именно: распространение областей питания, движения, разгрузки; направление движения подземных вод. Областям инфильтрационного питания, т.е. водораздельным пространствам, соответствуют максимальные мощности пресных подземных вод; областям дренирования (долинам рек, котловинам озер и водохранилищ) — минимальные мощности; областям транзита — промежуточные, так как мощность пресных подземных вод уменьшается по направлению их движения к дренам. Конфигурация изопахит пресных подземных вод в плане повторяет конфигурацию гидроизогипс, гидроизопьез и изолиний минерализации подземных вод. Стандартная схема изопахит нарушается на локальных участках: при подтоке минерализованных вод из нижележащих водоносных комплексов; при загрязнении.

Нижняя граница зоны пресных подземных вод может проходить в пределах первого от поверхности водоносного комплекса или в нижележащих водоносных комплексах. В первом случае зона пресных подземных вод будет занимать часть разреза водоносного комплекса; во втором — она, как минимум, равна мощности водоносного комплекса или превышает ее, распространяясь ниже по разрезу.

При определении мощности пресных подземных вод последовательно соблюдают этапы учета геолого-гидрогеологических условий:

а) исследование закономерностей формирования минерализации подземных вод каждого водоносного комплекса верхней гидродинамической зоны в плане и разрезе;

б) сравнительный анализ водоносных комплексов и выявление тех, которые входят в зону пресных вод. Объединение смежных комплексов, имеющих близкие гидрогеохимические свойства в пределах отдельных участков территории;

в) выявление участков с минерализованными водами в пределах водоносных комплексов, залегающих первыми от поверхности, и исключение их из зоны пресных подземных вод;

г) общая оценка мощности зоны пресных подземных вод.

Значительное увеличение мощности зоны пресных вод связано с палеодолинами, а также с антиклинальными структурами, сложенными терригенно-карбонатными породами.

Главные факторы формирования пресных вод — литолого-минеральный состав пород и их фильтрационные свойства. При региональном распространении пресных подземных вод с максимальной мощностью 350–450 м и более в зависимости от литолого-минераль-

ного состава пород выделяются среди вод две категории с характерными различиями в их мощности:

1) мощностью более 50 м — воды приурочены к песчаным и карбонатным породам;

2) мощностью менее 50 м — тяготеют к породам, обогащенным гипсами, ангидритами и глинистыми частицами морского генезиса и характеризующимся повышенной и высокой растворимостью.

Пресные подземные воды первой категории в зависимости от фильтрационных свойств пород характеризуются различной мощностью: чем выше фильтрационные свойства пород, тем больше мощность пресных вод (табл. 2.1). Это объясняется в значительной степени низким содержанием в указанных породах водорастворимых соединений.

Таблица 2.1

Закономерности изменчивости мощности зоны пресных подземных вод и определяющих их факторов

Мощность, м	Породы		Вода		Гидрогеологические условия
	Литология	Фильтрационные свойства	ΣM , г/дм ³	Компонентный состав	
50–250 и более	Терригенные и карбонатные	Значительные	0,5–0,7	HCO ₃ CaMgNa	Области питания, транзита, разгрузки
50–150 и более		Умеренные			
50–100 и более		Незначительные			
< 50	Терригенные, существенно глинистые	Не зависят	0,5–0,1	HCO ₃ Cl	То же
< 50	Терригенные с сульфидами	То же	0,5–0,1	HCO ₃ SO ₄	—//—
< 50	Сульфидные и терригенно-карбонатно-сульфатные	—//—	0,5–0,1	HCO ₃ SO ₄	—//—

Граница пресных подземных вод имеет, как правило, форму блюдца, и пресные воды в вертикальном разрезе — линзообразную форму, что обусловлено уменьшением мощности зоны пресных вод при приближении к речным долинам. Граница вод с минерализацией 1 г/дм³ подходит ортогонально к бортам речных долин, что связано с переходом вод в слабоминерализованные по направлению движения к долинам (рис. 2.9).

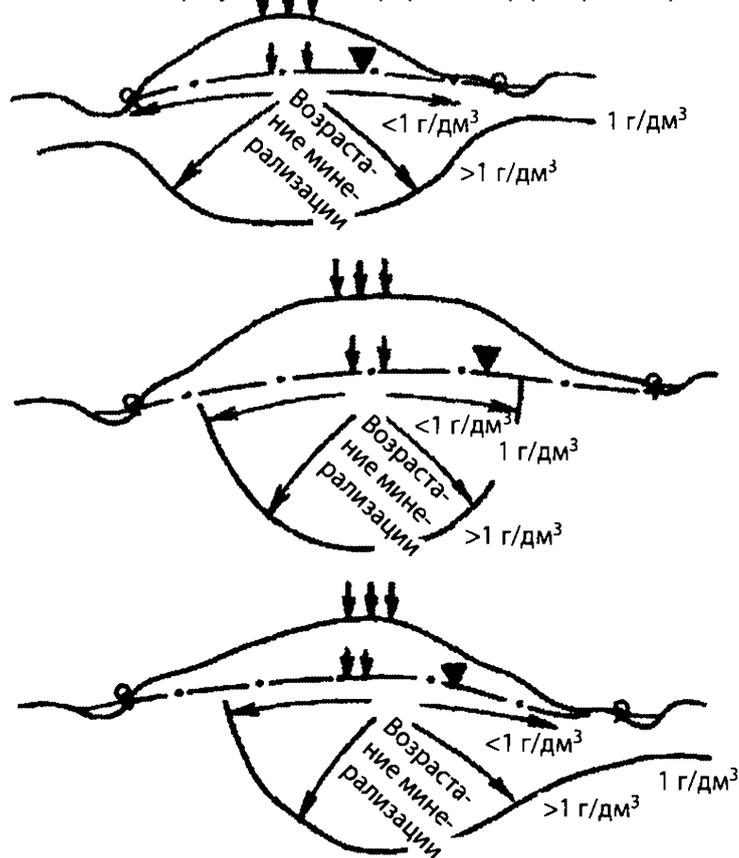


Рис. 2.9. Формы зоны пресных подземных вод в гумидных областях

2.2.4.3. Составление карты качества подземных вод

Задачи картирования качества подземных вод:

1) установление показателей качества вод рассматриваемой территории;

2) установление закономерностей формирования и распределения в подземных водах компонентов качества; разграничение компонентов качества и содержащих их вод на формирующиеся в природных и техногенных условиях;

3) выявление распространения подземных вод с ухудшенным качеством с указанием компонентов, ухудшающих качество.

Характер и порядок картирования компонентов качества подземных вод:

1) способы показа компонентов качества на карте;

2) правила картирования компонентов качества.

Перечень картируемых компонентов качества устанавливается по таблице результатов химического анализа подземных вод исследуемого водоносного комплекса. Для этого минерализация, макро-, микро- и другие компоненты вод каждого водопункта сравниваются с ПДК и прочими нормативами.

На карте водопунктов, воды которых содержат компоненты качества в количествах, превышающих ПДК, наносят величины превышений. По каждому компоненту качества в пределах исследуемого водоносного комплекса определяют диапазон величин превышений (минимум и максимум). В случае значительного диапазона превышений его разбивают на группы более мелких диапазонов. Полученные превышения ПДК компонентов качества подлежат картированию. Эти величины являются границами распространения подземных вод хорошего и ухудшенного качества, последние — с разной степенью ухудшения и по разным компонентам. Точность проведения границ достигается соответствием пространственного распределения компонентов качества геолого-гидрогеологическим условиям.

В естественных условиях границы распространения подземных вод с минерализацией <1 г/дм³; 1,0–1,5 и 1,5–3,0 г/дм³ повторяют конфигурацию гидроизогипс. Границы распространения подземных вод с аномально высоким содержанием сульфата определяются границами распространения гипсов, ангидритов или песчаных пород, обогащенных сульфидами, а с аномально высоким содержанием хлоридов — границами пород, обогащенных глинистыми фракциями с морским ионно-солевым комплексом.

Границы распространения подземных вод с аномальными концентрациями тяжелых металлов соответствуют границам распространения песчаных пород, обогащенных сульфидами, а границы распространения жестких подземных вод — границам распространения кальциево-магниевых вод углекислотного выщелачивания полевошпатных терригенных и карбонатных пород и кальциевых вод, а также границам растворения сульфатных пород.

При оконтуривании жестких подземных вод следует учитывать, что в гидрогеологическом отношении это воды областей, удаленных от инфильтрационного питания и сосредоточенных в областях разгрузки в речные долины и озерные котловины и примыкающих к ним областях транзита. В целом минерализация жестких вод превышает 0,5–0,6 г/дм³. Жесткие воды узкими полосами ограничивают речные долины, котловины озер и водохранилищ. Остальные обширные площади платформ с гумидным климатом заняты мягкими водами; их минерализация, как правило, менее 0,5–0,6 г/дм³, состав кальциево-магниевый, приурочены к терригенным, карбонатным и даже сульфатным породам. В гидрогеологическом отношении это области инфильтрационного атмосферного питания и близкие к ним области транзита. В отличие от кальциево-магниевых вод воды на-

трисового состава являются мягкими при различных величинах минерализации. Натриевые воды с минерализацией менее $0,5-0,6$ г/дм³ формируются при углекислотном выщелачивании натрий-полевошпатовых пород; с большей минерализацией — при переходе в воду ионно-солевого комплекса из песчано-глинистых пород морского генезиса, а также в случае процессов восстановления сульфатных кальциевых вод и обмена кальция на натрий глинистых пород морского генезиса.

Распространение подземных вод различных видов агрессивности в значительной степени определяется макрокомпонентным составом вод и литолого-минералогическим характером пород. Так, подземные воды с сульфатной агрессивностью связаны с распределением сульфатных вод, формирующихся при растворении гипсов, ангидритов и окислении сульфидов; с карбонатной агрессивностью — обусловлены наличием гидрокарбонатных кальциево-магниевых вод; с общекислотной — объединены распространением пород, характеризующихся полисульфидной минерализацией, при окислении которых подземными водами образуется серная кислота; с углекислотной — зависят от распространения обогащенных органическими веществами пород и почв, способствующих формированию значительных концентраций свободной углекислоты. Границы распределения вод с аномальными концентрациями стронция обусловлены распространением карбонатных и сульфатных пород, обогащенных осадочными стронциевыми минералами.

Картирование границ распространения компонентов, ухудшающих качество подземных вод по агрессивности, наряду с литолого-минералогической характеристикой пород, основано на региональных гидрогеодинамических условиях, прежде всего на направленности фильтрационных потоков. В направлении потоков величины содержания в водах компонентов, определяющих агрессивность, возрастают.

В случае однородных литолого-минералогических условий исследуемого объекта границы вод с различным качеством закономерно повторяют конфигурацию минерализации подземных вод и гидроизогипс (изопьез); в случае неоднородных условий возникают резкие границы со сложной конфигурацией. Так, подземные воды с карбонатной агрессивностью, приуроченные к карбонатным породам, характеризуются: минерализацией менее $0,1-0,2$ г/дм³; насыщенностью по карбонатным соединениям; отношением к областям инфильтрационного питания (реже — к примыкающим к ним областям транзита); большими величинами агрессивности в случае

формирования в условиях с большими фильтрационными свойствами пород. Подземные воды с сульфатной агрессивностью имеют минерализацию 0,6–0,7 г/дм³ и более; распространены в условиях, обеспечивающих значительное накопление сульфатов, т.е. в областях разгрузки и близких к ним областях транзита.

Границы распространения подземных вод с общекислотной агрессивностью в случае их формирования путем окисления сульфидных минералов вследствие нарастания результативности процесса в направлении фильтрационного потока повторяют конфигурацию гидроизогипс (изопъез) и минерализации. Общекислотная агрессивность также свойственна подземным водам с повышенными концентрациями углекислого газа, что в зоне интенсивного водообмена связано с разложением почвенной «органики».

Границы вод с общекислотной агрессивностью обусловлены распространением почв и глинистых пород, обогащенных органическими компонентами. Подземные воды с углекислотной агрессивностью преимущественно связаны с накоплением в них углекислого газа биогенным путем при разложении органической составляющей почв, поэтому могут иметь различную минерализацию и не подчиняются ответственности гидрогеологическим условиям. Их границы определяются границами распространения богатых «органикой» почв и пород.

Косвенным показателем пространственного положения подземных вод с углекислотной агрессивностью, а также общекислотной, связанной с СО₂, являются воды с повышенным содержанием хлоридов натрия, поскольку они формируются при взаимодействии с ионно-солевым комплексом глинистых пород морского генезиса, обогащенных «органическими веществами».

В техногенных условиях рассмотренные закономерности пространственного распределения подземных вод, характеризующихся с позиций качества, в той или иной степени нарушаются. Интенсивность нарушений определяется особенностями техногенного состояния исследуемых объектов.

2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОНОВЫХ И АНОМАЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ КОМПОНЕНТОВ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

Основой определения фоновых природных и аномальных значений гидрогеохимических показателей является содержательный анализ природных геолого-гидрогеологических, в сочетании с ландшафтно-климатическими, условий, позволяющий установить геохи-

мический облик подземных вод, соответствующий этим условиям. В случае несоответствия этим условиям химический состав подземных вод носит черты аномальности, часто связанной с техногенным влиянием. Этот анализ успешно используется для качественно-количественного выявления загрязнения подземных вод при эколого-гидрогеохимическом классифицировании и картировании. Сравнение геохимического состояния подземных вод в исследуемый период с фоновым позволяет оценить степень их загрязнения.

В целях ориентировочного, на качественном уровне, представления о фоновом и аномальном состоянии подземных вод по тем или иным показателям можно воспользоваться сравнительным анализом показателей на основе ранжированного ряда.

Ранжированный ряд чаще всего составляется из значений (в порядке их возрастания) минерализации, рН, Eh, концентраций отдельных компонентов, свойственных водоносному комплексу или региону. Постепенное возрастание значений или их близость указывают на отсутствие проявления аномальности; резкое изменение — на аномальный характер поведения изучаемого параметра.

Приемы оценки природного состояния гидрогеохимических показателей при решении задач загрязнения подземных вод:

1) оценка по данным химического состава подземных вод, приуроченных к участкам, не испытывавшим к моменту исследований техногенного влияния. Природное состояние участков определяется по комплексу геолого-гидрогеологических, ландшафтных, климатических и других показателей и соответствию им химического состава вод. Последний рассматривается с позиций источников веществ, поступающих в воды; факторов, обеспечивающих активное состояние источников и характера процессов в системах «подземная вода — источники веществ»;

2) оценка фона на основе статистического анализа. Наиболее употребительными приемами анализа являются: а) определение фонового содержания компонента методом гистограмм; б) посредством установления вида распределения; в) по графику обеспеченности; г) путем комплексной интерпретации гистограмм и регрессионных зависимостей;

3) оценка фона при генетическом гидрогеохимическом классифицировании (по Питьевой).

За природный химический состав подземных вод принимаются гидрогеохимические показатели номенклатурной группы классифицирования, характеризующиеся минимальными значениями минерализации и содержаниями в данной группе компонентов. Характер

распределения компонентов в пределах группы должен соответствовать естественным геолого-гидрогеологическим условиям формирования.

Необходимо отметить, что собственно статистические методы являются формальным инструментом обработки исходной информации и должны применяться совместно с гидрогеохимическими методами. Последние дают возможность построения гипотез о существовании различных процессов, приводящих к формированию неоднородных в гидрогеохимическом отношении объектов. Статистические методы позволяют подтвердить или отвергнуть эти гипотезы. Результаты статистической обработки информации необходимо интерпретировать исходя из существующих гидрогеохимических представлений и результатов исследования натурального материала.

Определение фона статистическим методом для неоднородных в гидрогеохимическом отношении объектов

Этот метод является более точным по сравнению со среднестатистическим методом, который позволяет оценить фоновое состояние компонента как единое для значительной по площади территории. Такое определение приемлемо при мелкомасштабном региональном исследовании, когда происходит осреднение (или нивелирование) отдельных конкретных явлений. Но в каждом конкретном случае накопление в водах компонента зависит не только от его геохимических свойств, но и от геолого-гидрогеологических условий. Интегральным отображением этих условий является химический состав подземных вод. Исследуемый компонент в водах того или иного состава имеет определенные связи со всеми другими компонентами, и эти связи характеризуют факторы фонового содержания исследуемого компонента.

Теснота связей выражается парной корреляцией компонентов воды с исследуемым компонентом и друг с другом. В число факторов, определяющих миграцию исследуемого компонента в воде данного состава, включают содержание тех компонентов, которые сильно связаны корреляционными связями с исследуемым компонентом и слабо — с прочими.

Фоновое значение исследуемого компонента рассчитывают на основе построения адекватной линейной модели, описывающей связь содержания исследуемого компонента с выявленными определяющими факторами.

Работа по определению загрязнения вод статистико-генетическим методом выполняется поэтапно.

1. Подготовка выборки.

Составляют таблицу данных химического анализа вод водоносного комплекса (комплексов) исследуемой территории. В таблицу вносят данные о содержании (мг/дм^3) компонентов-загрязнителей, основных макрокомпонентов, минерализации; в случае необходимости — также о микрокомпонентах и рН и др. В таблицу не включают данные превышения ПДК компонента-загрязнителя, так как загрязнение определяют по категории «аномальная концентрация выше фоновой, но ниже ПДК». Аномалии загрязнения с превышением ПДК отмечают на карте загрязнения. Длина ряда выборки в соответствии с требованиями статистики не менее 30 значений.

2. Определение фона.

- Выявляют факторы формирования исследуемого компонента, для чего осуществляют:
 - определение корреляционных связей исследуемого компонента, например NO_3^- , с макрокомпонентами, минерализацией, рН и другими характеристиками качества подземных вод;
 - составление матрицы полученных коэффициентов корреляции — r .

Среди полученных с учетом уровня значимости корреляционных связей выбирают те связи исследуемого компонента (например, NO_3^-) с другими компонентами, которые превышают установленный уровень значимости. Концентрации этих компонентов и являются факторами, с которыми в основном связана миграция исследуемого компонента в водах.

Выявленные факторы, определяющие формирование и миграцию компонентов в подземных водах, в каждом районе различны и зависят от своеобразия литологического состава отложений изученных районов и их фильтрационных свойств.

- Проводят расчет фонового содержания исследуемого компонента (NO_3^-) в водах.

Для расчета генетического фонового содержания исследуемого компонента в подземных водах составляют уравнение множественной регрессии. Например, для двухфакторной корреляции уравнение имеет вид

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2,$$

где y — содержание компонента-загрязнителя, например NO_3^- , мг/дм³; x_1 и x_2 — выбранные факторы (например, содержание Cl^- и Na^+ , мг/дм³); a — свободный член уравнения; b_1 и b_2 — коэффициенты уравнения.

Решение полученного уравнения осуществляют отдельно для каждого объекта опробования. В уравнение подставляют значения Cl^- (x_1) и Na^+ (x_2) из данных химического анализа вод.

По вычисленным результатам строят графики зависимости содержания исследуемого компонента от выявленных факторов. Точки с расчетным содержанием компонента-загрязнителя (NO_3^-) объединяют прямой линией, отображающей график функциональной зависимости этого компонента от выявленных факторов и характеризующей фоновое содержание NO_3^- . Точки фактических значений содержания загрязнителя, расположенные выше фоновой линии, свидетельствуют о наличии загрязнения подземных вод; точки, расположенные ниже, характеризуют область, не загрязненную нитратами.

Конечное расчетное значение y отражает содержание исследуемого компонента (NO_3^-) в водах пунктов опробования с учетом влияющих на них природных и техногенных условий, что соответствует фоновой и техногенной концентрациям компонента в данном пункте опробования.

- Количественную оценку загрязнения выполняют исходя из соотношения между фактической (аналитической) концентрацией исследуемого компонента в воде и вычисленной (с учетом факторов) фоновой его концентрацией $C_{\text{факт}}/C_{\text{фон}}$.
Если $C_{\text{факт}}/C_{\text{фон}} \ll 1$, то загрязнения в данном пункте нет; при $C_{\text{факт}}/C_{\text{фон}} \approx 1$ — загрязнение в начальной стадии; при $C_{\text{факт}}/C_{\text{фон}} > 1$ загрязнение существует. По численному значению превышения фактической концентрации исследуемого компонента над фоновой оценивается степень загрязнения.
- Составляют карту распределения фактических и фоновых концентраций по результатам расчета соотношения этих величин. Для их картирования с помощью гистограммной обработки выделяют градации, соответствующие различным условиям загрязнения. Строят изолинии величин рассчитанных соотношений с учетом рельефа, направления движения подземных вод, местоположения источников загрязнения и др.
- На основе карты конкретизируют распространение источников загрязнения, выявляют дополнительные очаги загрязнения, определяют характер загрязнения (точечный, площадной и др.), уста-

навливают пути миграции компонента-загрязнителя и участки с различной степенью загрязнения.

- Проводят оценку загрязнения подземных вод согласно требованиям к водам питьевого и хозяйственного назначения.

2.4. К МЕТОДИКЕ АНАЛИЗА ПОРОД, ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Задачи изучения химического состава пород (здесь и далее рассмотрены обломочные породы, грунты и почвы):

- 1) установление главных гранулометрических фракций, составляющих (образующих) литологические типы (разности) пород;
- 2) выявление роли органических соединений пород в формировании химического состава подземных вод;
- 3) установление источников и факторов формирования компонентов макро- и микроуровня в составе пород;
- 4) характеристика геохимических и миграционных свойств минеральных и органических компонентов пород;
- 5) определение состава компонентов макроуровня в породах;
- 6) комплексная характеристика химического состава пород;
- 7) выяснение Eh-pH-условий верхней части разреза.

К методике лабораторно-аналитических исследований пород

Карбонатный анализ осуществляют по стандартной методике определения карбонатности пород и почв в вытяжке 2%-й соляной кислотой. Результаты пересчитывают на весовые проценты оксидов Ca, Mg, Mn. Оценивают валовое содержание в породе так называемых полуторных оксидов (R_2O_3), в состав которых входят соединения алюминия, оксидного железа, а также, возможно, титана, фосфора. Определяют содержание некарбонатной (нерастворимой в соляной кислоте) составляющей пород, карбонаты закисного железа (сидерит), а также сульфаты.

Валовой (силикатный) анализ пород осуществляют по стандартной методике анализа пород (почв). Этот комплекс определений позволяет установить элементный состав пород, т.е. получить представление об общем содержании в породе химических элементов.

Анализ включает определение гигроскопической воды, потерь при прокаливании (ППП), а также содержания элементов, входящих в состав минеральной части пород. Результаты анализа выражаются количеством оксидов: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , MnO , CaO , MgO , P_2O_5 , K_2O , Na_2O — в весовых процентах.

Содержание гигроскопической воды определяется высушиванием образца в сушильном шкафу при температуре 100–105 °С; оно зависит от количества глинистых частиц и служит косвенным показателем механического состава отложений. Кроме того, присутствие органических коллоидов увеличивает содержание гигроскопической воды, адсорбируя на своей поверхности воду из воздуха.

Потери при прокаливании определяются при температуре 900 °С, при которой породы теряют химически связанную воду, гумусы и другую «органику», CO_2 карбонатов, адсорбированные газы и частично хлориды.

Состав минеральной части в валовом («силикатном») анализе в связи со слабой растворимостью силикатов в воде и кислотах определяется путем сплавления породы с углекислым калием и натрием или их смесями. Это приводит к разложению силикатов и возможному растворению продукта плавления в воде и кислотах с последующим определением в них компонентов по стандартным методикам.

Полным химическим анализом, выполняемым нейтронно-активационным методом и другими методами, определяется содержание 41 элемента макро- и микрокомпонентного состава пород.

Анализ водорастворимых веществ пород выполняется на основе водных вытяжек безуглекислой дистиллированной водой по стандартной методике. Действие воды на породу состоит в растворении простых солей, частично гумусовых веществ и кремнекислых соединений, а также частичном разложении сложных силикатов. Среднерастворимые и слаборастворимые соединения переходят в водную вытяжку частично, хорошо растворимые — практически полностью. Для приготовления вытяжки проб порода заливается водой в соотношении 1:5 (на 100 г породы — 500 см³ воды); смеси взбалтываются в течение 3 мин, затем отфильтровываются через сухой фильтр. Образцы торфа заливаются водой в соотношении 1:10. Состав фильтрата, характеризующий водорастворимую составляющую пород, анализируется по стандартным методикам, предназначенным для водных проб.

В водных вытяжках определяются, помимо общепринятых макрокомпонентов, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , Fe^{2+} , Fe^{3+} , $\text{Fe}_{\text{общ}}$, pH, Eh, окисляемость, CO_2 . Сульфат-ион определяется количественным методом.

К методике обработки результатов лабораторно-аналитических исследований пород и их интерпретации

В основу методики обработки и интерпретации фактического материала при решении вопроса о химическом составе пород любой

территории должен быть положен естественно-исторический анализ, принципы которого базируются на комплексности, системности, информативности и достоверности исследований.

Комплексный подход к исследованию включает широкий набор аналитических определений, позволяющих всесторонне охарактеризовать распространение и геохимические особенности пород, а также генетические позиции самих пород и их компонентов. Комплексный подход обуславливает возможность применения системного анализа при обработке данных; определяет высокие достоверность и информативность результатов обработки.

Системность заключается в характеристике состава пород через детальное представление о геохимии, минералогии и систематизации слагающих их компонентов, исходя из количественного распределения на компоненты макро- и микроуровня в породах. *Информативность* обуславливается полнотой аналитических сведений о компонентах пород и широтой естественно-исторических положений о составе пород, полученных по результатам обработки и интерпретации аналитических и литературных данных. *Достоверность* определяется сочетанием вышеизложенных позиций естественноисторического анализа.

Генетическое обоснование химического состава пород в качестве главных показателей включает источники вещества пород, а также факторы, определяющие особенности преобразования этого вещества. Обозначенные факторы можно принципиально разделить на две группы: 1) геохимические свойства компонентов, такие как заряд, ионный радиус, атомная масса, растворимость и пр.; 2) внешние (природные) факторы, влияющие на формирование определенных типов пород с конкретным химическим составом. К факторам второй группы относятся: литологический состав пород с учетом фракций гранулометрического анализа; гидрогеодинамические факторы и пр.

Для характеристики содержания компонентов в породах, особенностей распределения содержания компонентов в отложениях различных территорий используются приемы статистической обработки данных: расчет средних значений и среднеквадратичных отклонений; построение гистограмм распределения величин содержания компонентов; корреляционный анализ; простые факторные модели.

Основой определения естественного формирования химического состава пород (как и любых геологических объектов) служит содержательный анализ природных геолого-гидрогеологических условий,

который позволяет установить геохимический облик пород, соответствующий этим условиям. В случае несоответствия химический состав пород носит черты аномальности, возникающей под техногенным воздействием или же вследствие неоднородности состава пород, формирующейся под влиянием природных условий. Применяемые для обработки натурального материала статистические методы служат формальным инструментом.

Многие из статистических методов хорошо работают в условиях однородности объектов. Под *однородными* породами с геохимических позиций следует понимать те, которые формируются в единых для данной территории геолого-гидрогеологических условиях и характеризуются близкими свойствами. Примеры однородных пород: карбонатные, сульфатные и др.; глинистые с равномерно рассеянным органическим веществом и пр.

Используемый статистический факторный анализ позволяет при рассмотрении совокупности взаимозависимых компонентов разделить имеющиеся данные на отдельные множества, отличающиеся по ряду признаков. Моделирование на основе факторного анализа существенно дополняет выводы о генезисе химического состава пород, получаемые при естественно-историческом анализе натурального материала.

Для интерпретации результатов анализа химического состава пород используется также прием ранжирования рядов компонентов. Ранжированные ряды довольно широко применяются для решения самых разнообразных задач. При изучении формирования химического состава пород ранжированные ряды часто используются для выявления влияния на распределение компонентов в породах гранулометрического состава.

Характеристика компонентов при этом выражается через их максимальное, минимальное и среднее содержание в породах, которые определяются для случаев: а) всей выборки в целом, включающей породы разного литологического состава; б) глинистых пород; в) песчаных разностей и др.

В каждом из этих случаев ранжированный ряд составляется от максимальных концентраций к минимальным. Компоненты для ранжированных рядов выбираются из числа «главных» (с максимальным содержанием) и второстепенных.

С использованием ранжированных рядов решаются следующие задачи:

1) установление закономерностей в изменении содержания каждого компонента в зависимости от литологического состава пород;

- 2) выявление особенностей в принадлежности компонентов к породам различного литологического состава;
- 3) группировка компонентов по степени значимости взаимосвязи их содержания с литологическим составом пород;
- 4) оценка соотношения значений содержания компонентов в глинистых и песчаных разностях пород.

2.5. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ОБЯЗАТЕЛЬНЫЕ ВИДЫ АНАЛИТИЧЕСКИХ РАБОТ

В обязательные аналитические работы включаются следующие виды определений.

1. Водных проб (подземных, поверхностных, сточных вод, атмосферных осадков):

а) на макрокомпонентный (HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) состав; состав азотных соединений и железа (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Fe^{2+}); pH, Eh стандартными методами;

б) микрокомпонентный состав (Si, Sr, F, Mn, Al, Ba, B, Li, P и др.);

в) сорбированные углеводородные газы группы метана методом газовой хроматографии с предварительным получением из водной пробы сухого остатка при температуре +80 °С и органический углерод;

г) окислительно-восстановительные показатели (pH, Eh);

д) окисляемость (в разных видах);

2. Пород:

а) на гранулометрический состав с целью достоверной интерпретации данных водорастворимых макрокомпонентного, а также микрокомпонентного составов;

б) состав алюмосиликатов и карбонатов в целях характеристики в подземных водах компонентов естественного и техногенного формирования;

в) состав воднорастворимых соединений в целях выявления процессов техногенного, а также природного формирования вод ухудшенного качества;

г) микрокомпонентный состав в целях систематизации микрокомпонентов подземных вод по генезису.

3. Газообразных углеводородов в водных пробах и породах методом газовой хроматографии. При анализе водных проб на содержание углеводородов готовятся сухие остатки. С целью их сохранения в сухих остатках следует использовать пониженную до 80 °С температуру выпаривания водных растворов.

Существенная особенность установления качества подземных вод по химическому составу заключается в необходимости обязательной и, по-возможности, наиболее полной характеристики анионогенного и катионогенного их состава. Это условие часто не выполняется. До настоящего времени данные анализа макрокатионов в ряде эколого-гидрогеологических работ недостаточны или вовсе отсутствуют.

Неполная характеристика компонентного состава приводит к невозможности получить:

а) исчерпывающую характеристику качества вод по макрокомпонентам, так как многие из них (Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-}) относятся к компонентам-загрязнителям глобального распространения;

б) достаточный объем сведений о формировании микрокомпонентов;

в) расчетную суммарную минерализацию пробы воды, что искажает истинное состояние ее качества;

г) расчет миграционных солевых форм, которые широко используются в качестве показателей процессов загрязнения подземных вод;

д) достоверное решение вопросов условий формирования загрязнения подземных вод и прогноза их загрязнения;

е) безошибочный природный фоновый состав вод, который является, помимо ПДК, важной характеристикой качества вод.

Наряду с необходимостью анализа в водах макрокатионов, следует обратить внимание на получение данных по азотным соединениям (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-) и Eh, так как в совокупности эти данные являются существенными показателями условий загрязнения вод.

Примеры экстремальных условий выполнения аналитических работ

А. В случае малых объемов растворов анализируется неполный комплект компонентов. Рекомендуется следующая очередность анализа таких проб.

Первыми анализируются анионы в порядке HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} в соответствии с возможным загрязнением органическими и неорганическими веществами; анионы же в целом наиболее показательные компоненты-загрязнители.

Вторыми анализируются катионы в порядке Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , так как натрий содержится в большинстве загрязнений, а кальций часто входит в состав органических загрязнителей — наиболее опасных.

Далее определяются pH, Eh, азотные соединения как компоненты, отражающие конкретное загрязнение (pH — через кислые,

богатые высоким содержанием геохимически активного водорода растворы; Eh — при низком потенциале свидетельствует о загрязнении органическими соединениями; NH_4^+ как показатель органического загрязнения; NO_3^- и NO_2^- как показатели загрязнения в кислородных условиях).

Б. В случае несходности суммарных содержаний катионогенных компонентов в эквивалентной форме с анионогенными, приводящей часто к отбраковке проб, следует определять причины такого явления.

Например, в ряде водных проб одного из исследуемых участков по результатам анализа сумма макроанионов оказалась меньше по сравнению с суммой макрокатионов. При этом среди анионов оказались в аномально малых концентрациях сульфаты. Уточнение содержания серы в водах рассматриваемых проб по данным полного химического анализа элементов показало ее высокие концентрации, приходящиеся частично на сероводород, что было подтверждено низкими Eh воды. Таким образом, было установлено, что дисбаланс анионов образовался за счет неучтенной серы сульфидов.

2.6. ГАЗООБРАЗНЫЕ СОРБИРОВАННЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ КАК ИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Источниками углеводородов (УВ) в подземных водах верхней гидродинамической зоны в пределах городских территорий являются, главным образом, загрязненные породы зоны аэрации, а также сточные воды и атмосферные осадки, углеводороды в которых накапливаются за счет газообразных техногенных выбросов и при инфильтрации через твердые отходы.

В атмосфере содержание метана колеблется до $1,2 \cdot 10^{-4}$ об.%, прочих углеводородов — незначительно. В ее составе преобладает азот (78 об.%), содержание кислорода 21 об.%, углекислого газа — 0,03 об.%.

В почвенном воздухе всегда содержатся пары воды и микроконцентрации газов CO_2 , N_2O , NO_2 , CH_4 , C_2H_4 , H_2 , H_2S , NH_3 , а также летучие органические компоненты (эфир, спирты). Концентрации газов и летучих компонентов обычно не превышают 12%. Среднее содержание метана в почвенном газе может достигать 0,03 об.%, тяжелых углеводородов — 10–4 об.%. Содержание азота в почвенном воздухе несущественно отличается от атмосферного. Количество кислорода с глубиной уменьшается от 20,6 до 7,6%. Концентрации углекислоты имеют обратное распределение. Почвенный воздух со-

держит в 10–100 раз (от 0,3–8,5 до 99 об.%) больше углекислого газа, чем атмосферный. «Дыхание» почв определяется скоростью выделения углекислого газа и составляет 0,01–1,5 г/см³·ч.

В материнских породах суммарное содержание углеводородов составляет 0,01%, в осадочных породах их среднее содержание 0,25–0,30 кг/м³. Содержание метана в них составляет (33,5–495,2) × 10⁻⁴ об.%; прочих углеводородов — (3,8–152,2) · 10⁻⁴ об.%. В составе газа преобладает азот (до 82 об.%). Содержание свободного кислорода 18 об.%. Водорода в коренных породах содержится не более (0,2–3,65) · 10⁻³ об.%.

В контуре нефтегазоносных площадей содержание метана в поверхностных водах достигает 24419 · 10⁻⁴ см³/дм³, тяжелых углеводородов — 50 · 10⁻⁴ см³/дм³; за контуром их содержание значительно ниже: СН₄ — 35 · 10⁻³ см³/дм³, тяжелых углеводородов — 0,11 × 10⁻³ см³/дм³. В составе газов поверхностных вод преобладает азот (80 об.%), содержание кислорода 12–13, СО₂ — 1,5–1,7 об.%.

Углеводороды взаимосвязаны со многими минеральными компонентами. Об этом свидетельствует присутствие многих элементов в органическом веществе пород и нефти. Анализ органического вещества пород Северного Прикаспия показал, что в 0,01–1 г органического вещества содержится 0,02–0,3 мг брома и до 120 мг хлора.

В нефти хлор присутствует в десятых, бром — в тысячных, бор в десятитысячных долях процента. Распределение хлора и брома в нефти различной стратиграфической приуроченности равномерное.

Газы нефтепереработки образуются при перегонке или других процессах переработки нефти. При прямой перегонке содержащиеся в нефти углеводороды не изменяются и состав газов зависит лишь от характера исходной нефти. Другие методы переработки нефти (крекинг, пиролиз и пр.) оказывают влияние на состав образующихся газов. Основным отличием химического состава газов нефтепереработки от природных и попутных газов является наличие в них значительного количества непредельных углеводородов (12–50 об.%) и водорода.

В природных средах углеводородный газ может находиться в свободном, растворенном, адсорбированном, абсорбированном и капиллярно-конденсированном виде, и только в осадочных отложениях он присутствует во всех перечисленных формах. Свободные и растворенные газы приурочены к макропорам и трещинам, адсорбированные — к поверхностному минеральному слою, абсорбированные — к кристаллической решетке минералов, капиллярно-конденсированные — к микропорам и микротрещинам. Наибольшей

подвижностью обладают свободные и растворенные газы, в составе которых преобладают метан и его предельные гомологи; непредельные углеводороды составляют следовые количества.

Далее рассмотрены вопросы, связанные с формированием и закономерностями распределения в породах зоны аэрации и в водных средах верхней гидродинамической зоны углеводородных компонентов группы метана в газообразной адсорбированной форме с позиций их использования в качестве показателей загрязнения. Предпосылка к использованию углеводородных газов в качестве показателей загрязнения сред атмогидролитосферы особенно важна для гидрогеоэкологического мониторинга.

Подземные и поверхностные воды различного генезиса, а также промышленные, коммунальные и другие сточные воды содержат преимущественно растворенные и адсорбированные углеводородные газы. *Растворенные газы* представлены в основном метаном, а также (в меньших концентрациях) его гомологами, углекислым газом, сероводородом, азотом, кислородом, водородом, инертными газами. Их содержание определяется, помимо растворимости, обогащенностью пород органическими веществами, структурно-гидрогеологическими условиями, длительностью развития водоносных систем и пр.

Адсорбентами углеводородных газов в водных средах являются минеральные коллоиды (алюминия и др.), углистые и битумные вещества, коллоиды нефтяных веществ, пылеватые частицы. Их наличие в водных средах верхней гидродинамической зоны обусловлено тем, что водные среды — это растворы, характеризующиеся сложностью составляющих их компонентов с геохимическими и структурно-физическими позициями. Серьезным обоснованием присутствия в водных растворах земной коры, в том числе верхней гидродинамической зоны, углеводородных газов сорбированной формы является метод их анализа, заключающийся в газовой хроматографии, а также выявленные при обработке результатов анализа водных проб этим методом гидрогеохимические закономерности, четко объясняемые с позиций сорбционных процессов. Исследования загрязнения водных объектов (подземных, поверхностных вод, стоков на основе газообразных УВ сорбированной формы) к настоящему времени проведены в Прикаспийском артезианском бассейне, Восточной Сибири, Причерноморье, Ново-Уренгойском и других районах севера Северо-Запада Сибири.

Особенностью анализа водных проб на сорбированные газообразные УВ является то, что анализируется их сухой остаток и в целях

сохранения в нем УВ выпаривание водных растворов осуществляется при более низкой по сравнению со стандартно используемой температурой (+80 °С). Газообразные сорбированные углеводороды представлены метаном и его предельными (табл. 2.2) и непредельными гомологами (табл. 2.3).

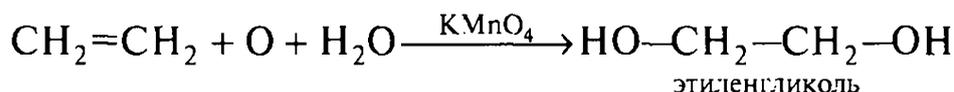
В геохимическом отношении углеводороды в природных условиях слабореакционноспособны. Их реакционная способность повышается с увеличением давления, температуры, а также на свету.

Несмотря на существенную геохимическую инертность углеводородов, учеными доказано их участие в целом ряде физико-химических процессов, обусловленное приобретением углеводородными молекулами полярности вследствие ориентационного, индукционного, дисперсионного и других эффектов. Действие эффектов, направленные на поляризацию углеводородных молекул, усиливается факторами высокой температуры, давления, концентрации кислорода, присутствием компонентов-катализаторов и геохимическими свойствами углеводородов (табл. 2.4).

Наиболее широко распространенными являются процессы окисления, сорбционные, растворения, смешения, а также преобразования компонентного состава углеводородов.

Предельные углеводороды окисляются (горят) с образованием диоксида углерода и воды: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + Q$ ($Q = 880$ кДж).

Непредельные углеводороды (этилен и его гомологи) хорошо окисляются в присутствии перманганата калия:



Окисление носит радикально-цепной характер. Требуется извне начальный импульс для окисления первых молекул углеводородов. Моментально в реакции с молекулой углеводорода образуется свободный радикал, передающий энергию соседним молекулам, которые активизируются, вызывая продолжение реакции.

Углеводороды взаимодействуют с минералами пород, содержащими связанный кислород, такими как оксиды тяжелых металлов, соли сульфатов и др. При этом происходит окисление углеводородов и восстановление минералов:



Экспериментально показано, что при температуре 100–300 °С образуется 1–3% CO_2 , при 600 °С — 12,5%.

Структурные формулы предельных углеводородов

Название углеводорода	Молекулярная формула	Структурная формула	Изомеры
Метан	CH_4	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	
Этан	C_2H_6	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	
Пропан	C_3H_8	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	
Бутан нормальный	$n\text{C}_4\text{H}_{10}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	Изобутан или 2-метилпропан
Изобутан	$i\text{C}_4\text{H}_{10}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \quad \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\quad\quad\quad\text{C}-\quad\quad\quad\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H}-\text{C}-\text{H} \quad \text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	
Пентан нормальный	$n\text{C}_5\text{H}_{12}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	2-метилбутан
Изопентан	$i\text{C}_5\text{H}_{12}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \quad \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	

Название углеводорода	Молекулярная формула	Структурная формула	Изомеры
		<pre> H H H-C-H H H H-C---C---C-C-H H H H H-C-H H </pre>	2,2-диметилпропан

Таблица 2.3

Структурные формулы непредельных углеводородов

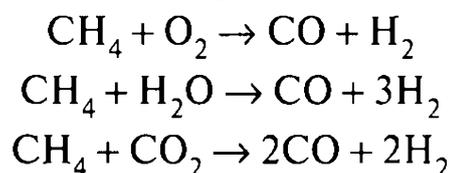
Название углеводорода	Молекулярная формула	Структурная формула	Изомеры
Этилен (этен)	C_2H_4	<pre> H H C=C H H </pre>	
Пропилен (пропен)	C_3H_6	<pre> H H H H-C-C=C H H </pre>	
Бутилен (бутен)	C_4H_8	<pre> H H H H H-C-C-C=C H H H </pre> <pre> H H H H H-C-C=C-C-H H H </pre> <pre> H H H H-C-C=C H H-C-H H </pre>	<p>Бутен-2 или диметилэтилен</p> <p>Бутен-3 или 2-метилпропен</p>

Геохимические свойства углеводородов

Название углеводорода	$T_{\text{кип}}$ при нормальных условиях, °C	Относительная молекулярная масса		$T_{\text{пл}}$, °C	Растворимость, $\frac{\text{см}^3/\text{дм}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{Коэффициент растворимости}}$	Диаметр Молярный объем, см^3
		Плотность при 0 °C и 101,32 кПа, г/дм ³				
Метан CH_4	-164	$\frac{16,04}{0,717}$		-182,5	$\frac{24,4}{0,033}$	$\frac{4}{33}$
Этан C_2H_6	-88,6	$\frac{30,07}{1,357}$		-182,8	$\frac{60,4}{0,047}$	$\frac{4,7}{55}$
Пропан C_3H_8	-42,1	$\frac{44,09}{2,09}$		-187,6	$\frac{62,4}{0,037}$	$\frac{5,04}{\text{н.с.}}$
Бутан норм. $n\text{C}_4\text{H}_{10}$	-0,5	$\frac{58,12}{2,703}$		-138,3	$\frac{61,4}{0,036}$	$\frac{5,00}{\text{н.с.}}$
Изобутан $i\text{C}_4\text{H}_{10}$	н.с.*	$\frac{58,12}{-}$		н.с.	$\frac{13,1 \text{ см}^3/100 \text{ см}^3}{0,025 \text{ при } 17 \text{ °C}}$	$\frac{5,34}{\text{н.с.}}$
Пентан норм. $n\text{C}_5\text{H}_{12}$	36,07	$\frac{72,15}{-}$		-129,8	38,5	н.с.
Изопентан $i\text{C}_5\text{H}_{12}$	н.с.	$\frac{72,15}{-}$		н.с.	н.с.	н.с.
Этилен (этен) C_2H_4	-103,8	$\frac{28,05}{-}$		-169,2	$\frac{25,6 \text{ см}^3}{100 \text{ см}^3}$	$\frac{4,4}{44}$
Пропилен (пропен) C_3H_6	-47,7	$\frac{42,08}{-}$		-185,2	$\frac{44,6 \text{ см}^3}{100 \text{ см}^3}$	н.с.
Бутилен (бутен) C_4H_8	-6,3	$\frac{56,10}{-}$		-185,3	Следы при 20 °C	$\frac{5,6}{90}$

* н.с. — не существует.

При существенно высоких (>100 °C) температурах, а также под воздействием водяного пара или диоксида углерода происходит окисление с образованием CO и H₂:



Наиболее интенсивно углеводороды окисляются в поверхностном слое почвы, что обуславливается присутствием в этом слое озона воздуха и действием солнечной радиации. Озон окисляет углеводороды при невысоких температурах. Особенно легко окисляются тяжелые углеводороды. Ультрафиолетовые лучи способствуют окислению углеводородов кислородом. Наиболее химически стойкий из углеводородов — метан. По мере увеличения цепи углеродных

атомов окисление становится более активным. Окисление углеводородов ускоряется в присутствии катализаторов (Са, Рb и др.).

Предельные и непредельные углеводороды *обладают различной сорбционной способностью*, прямо пропорциональной температуре кипения, удлинению цепи атомов углерода, увеличению относительной молекулярной массы и диаметра молекул углеводородов:

Сорбционная способность	nC_5H_{12}	$>C_4H_8$	$>C_3H_8$	$>C_3H_6$	$>C_2H_6$	$>C_4H_8$	$>C_2H_4$	$>CH_4$
Температура кипения $t, ^\circ C$	+36,07	-0,5	-6,3	-42,1	-47,7	-88,6	-103,8	-164

Относительная молекулярная масса предельных и непредельных углеводородов при удлинении цепи углеродных атомов возрастает, увеличивается также диаметр молекул (см. табл. 2.4).

Сорбция попутных газов протекает согласно закономерностям, характерным для углеводородов:

Сорбционная способность	CO_2	$>O_2$	$>CO$	$>N_2$	$>H_2$
Температура кипения $t, ^\circ C$	-78	-182	-190	-195	-252
Диаметр молекулы	4,1	3,8	4,1	4,5	3,8
Молярный объем, $см^3$	35,1	28	35,4	34,5	28,6

Растворимость предельных углеводородов в воде ($см^3/дм^3$):

ГЛУВ	C_3H_8	$> i, nC_4H_{10}$	$>C_2H_6$	$> i, nC_5H_{12}$	$>CH_4$
Растворимость, $см^3/дм^3$	62,4	61,4	60,4	38,5	24,4
Растворимость C_4H_8 — следы					

Растворимость некоторых продуктов нефти, $мг/дм^3$: бензина 14–170; керосина 4–13; дизельного топлива 3–18; бензола, толуола > 100 –150.

Коэффициенты растворимости составляют: CH_4 — 0,033; C_2H_6 — 0,047; C_3H_8 — 0,037; C_4H_{10} — 0,036; iC_4H_{10} — 0,025; C_4H_8 — следы.

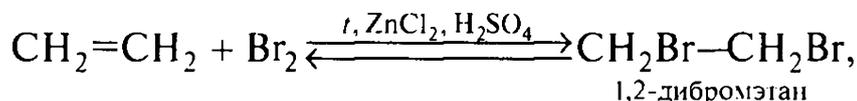
Растворимость углеводородов в дистиллированной воде больше, чем в растворах. Растворимость углеводорода и углекислого газа в нефти более высокая, чем в воде. При нормальных условиях коэффициент растворимости метана в нефти в среднем примерно в 10 раз больше, чем в воде, т.е. приближается к величине 0,3. При небольшом давлении коэффициент растворимости этана в нефти составляет 1–1,5; при давлении около 10 МПа он приближается к 3. Для пропана это увеличение коэффициента растворимости с ростом

давления выражено еще более резко. При давлении в 0,5 МПа коэффициент растворимости пропана имеет значение около 30.

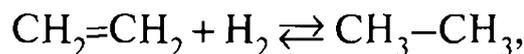
Преобразование компонентного состава углеводородов представлено процессами присоединения (для непредельных углеводородов (НУВ)) и замещения (для предельных углеводородов (ПУВ)).

Этилен и его гомологи присоединяют:

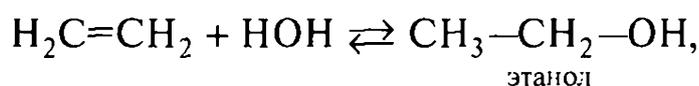
1) галогены



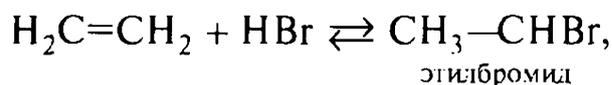
2) водород (реакция гидрирования)



3) воду (реакция гидратации)



4) галогеноводороды

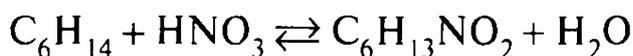


5) серную кислоту $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OSO}_3\text{H}$.

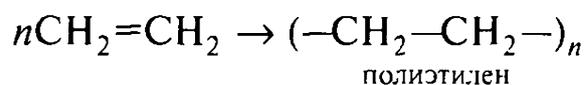
Этилсерная кислота при действии воды разлагается на спирт и серную кислоту:



Предельные углеводороды из-за насыщенности в их молекулах всех связей углерода не способны к реакциям присоединения. Для них характерна реакция замещения, при которой происходит замена атомов водорода на атомы галогена и др. При повышенной температуре и давлении ПУВ имеют большую реакционную способность. Например, в условиях повышенного давления возможно замещение водорода на остаток азотной кислоты NO_2 с образованием нитросоединений (реакция Коновалова):

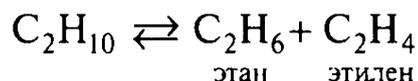


Предельные углеводороды подвергаются полимеризации. Реакция полимеризации протекает при повышенной температуре и давлении. В присутствии катализаторов молекулы этилена соединяются друг с другом вследствие разрыва двойной связи:

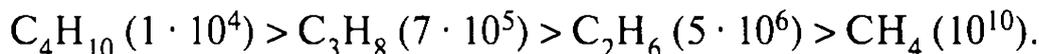


Предельные углеводороды при нагревании (свыше 100 °С) расщепляются. При нагревании до 450–550 °С сложные ПУВ распада-

ются с образованием более простых молекул предельных и непредельных углеводородов (крекинг-процесс):



Скорости распада углеводородов (изменение концентрации углеводородов за время $V = dc/dt$) малы. Константы распада K (доля углеводорода, распадающегося за 1 с) при 500 °С образуют ряд:



При этом большинство молекул углеводородов сохраняют структуру.

2.7. ПРИМЕР ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПО ДАННЫМ УГЛЕВОДОРОДНОГО СОСТАВА

Примером послужили данные углеводородного состава атмосферного воздуха, отобранного в пределах эксплуатационных скважин, газоперерабатывающего завода и других объектов газохимического комбината Астраханского нефтегазового месторождения, а также в удалении от них. Отбор проб производился в конце 90-х гг. XX в. посредством сорбции углеводородных компонентов искусственным сорбентом на высоте около 3 м в течение 10 дней одновременно. Анализ осуществлен газовым хроматографом.

По результатам анализа суммарное содержание адсорбированных углеводородов в атмосфере воздуха составляет $(78,6-776,5)n \times 10^{-4} \text{ см}^3/\text{кг}$; часто встречаемыми являются величины более $300n \times 10^{-4} \text{ см}^3/\text{кг}$. Тип углеводородного состава, устанавливаемый по преобладающему компоненту, преимущественно C_4H_8 ; редко — CH_4 , и в единичном случае — $n\text{C}_4\text{H}_{10}$. В подтипах, представленных компонентами с содержанием более 10% от $\Sigma\text{УВГ}$, преобладают C_3H_6 или C_4H_8 ; другие компоненты, как правило, содержатся в количествах 5-10% и менее.

Преобладает соотношение $\Sigma\text{НУВ} > \Sigma\text{ПУВ}$.

Суммарное содержание сопутствующих газов (см. табл. 2.2, разд. 2.6) $358,2-1373,17n^0 \text{ см}^3/\text{кг}$ (чаще всего распространены величины более $500n^0 \text{ см}^3/\text{кг}$). Тип сопутствующих газов — CO_2 ; подтип $\text{N}_2 > \text{O}_2$. Кислород содержится в концентрациях 5-10% или более от суммы сопутствующих газов.

При интерпретации результатов анализа главное внимание обращалось на распределение в атмосферном воздухе: C_4H_8 — как пока-

зателя естественного формирования УВ; CH_4 — нефтегазового формирования УВ; C_3H_6 и $\Sigma\text{НУВ} > \Sigma\text{ПУВ}$ — техногенного, связанного с переработкой нефтегазового сырья; $\Sigma\text{УВ}$ используется как обобщающий показатель генетических особенностей атмосферного воздуха.

По вышеназванным показателям состояния атмосферного воздуха выделены три группы проб по $\Sigma\text{УВ}$: с минимальными, промежуточными и максимальными значениями. Участки атмосферы с минимальными значениями $\Sigma\text{УВ}$ приняты за фоновые, близкие к природным. Ближе всего к природным фоновым содержаниям углеводородных компонентов в атмосфере находятся данные по углеводородному составу атмосферы участков, расположенных в удалении от месторождений. Они характеризуются минимальным суммарным содержанием углеводородов и преобладанием непредельных углеводородов над предельными. Однако ряд показателей ($\Sigma\text{УВ}$, CO_2 , N_2 и др.) свидетельствует о наличии влияния (хотя и незначительного) на формирование атмосферных газов этих районов техногенных объектов Астраханского газового комплекса. Они немного превышают величины, наблюдаемые в атмосферном воздухе за пределами месторождения. Их следует считать околофоновыми с минимальным региональным загрязнением атмосферы, наиболее удаленной от техногенных объектов с интенсивным проявлением нефтегазового углеводородного фактора. Это участки емкостей сезонного регулирования (ЕСР), водозаборных (речных) очистительных сооружений (ВОС) и др.

Участки атмосферы, характеризующиеся промежуточными и максимальными величинами $\Sigma\text{УВ}$, отнесены к углеводородным аномалиям техногенного загрязнения: с максимально аномальными $\Sigma\text{УВ}$ — к аномалиям с наиболее интенсивным техногенным состоянием по углеводородным компонентам; с промежуточными — к менее техногенному состоянию объектов нефтегазового значения.

Каждая из этих групп аномалий загрязнения атмосферного воздуха отличается по компонентному составу главных аномалийных компонентов. Аномалии с наиболее интенсивным техногенным проявлением по $\Sigma\text{УВ}$ (пробы 10, 13, 14; в меньшей степени — 8, 11, 12 участков перерабатывающего завода, комплексных очистных сооружений и др. — см. табл. 2.2, разд. 2.6) характеризуются: $\Sigma\text{ПУВ} > \Sigma\text{НУВ}$; преобладанием типа CH_4 , а также $n\text{C}_4\text{H}_{10}$.

Эти аномалии атмосферного воздуха и аномалии с промежуточным проявлением $\Sigma\text{УВ}$ (тип C_4H_8 , $\Sigma\text{ПУВ} > \Sigma\text{НУВ}$) близки по C_3H_6 .

Σ УВ в атмосфере территории перерабатывающего завода в 6 с лишним раз превышает Σ УВ в атмосфере с околочоновым содержанием Σ УВ. В целом состав адсорбированных углеводородных газов соответствует составу углеводородов, формирующихся в условиях переработки. В составе углеводородных газов участков КОС-2 и скважин завода отмечается высокое содержание CН_4 (54, 43, 40,5%); из главных компонентов, составляющих подтипы, преобладают C_4H_8 , C_3H_6 . Типовой состав углеводородов на этих участках метановый.

В атмосфере г. Москвы суммарные концентрации углеводородных газов составляют $491 \cdot 10^4 \text{ см}^3/\text{кг}$. В целом уровень концентрации УВ в атмосфере на Варшавском шоссе $(500\text{--}600) \cdot 10^4 \text{ см}^3/\text{кг}$ близок к его значению $((500\text{--}600) \cdot 10^4 \text{ см}^3/\text{кг}$ и выше) на отдельных объектах АГПК, но состав углеводородов отличен; в атмосфере г. Москвы отсутствуют высокие концентрации $n\text{C}_4\text{H}_{10}$ и др.

Некоторые выводы:

1) газообразные сорбированные углеводороды можно успешно использовать в мониторинге атмосферы для условий городов;

2) в городских условиях содержание газообразных углеводородов в атмосферном воздухе достигает значительных величин, соотносимых с величинами, формирующимися в атмосфере нефтегазовых месторождений, что свидетельствует о значимом распространении на территории городов объектов, являющихся источником газообразных углеводородов.

3. ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЯ ТЕРРИТОРИИ Г. МОСКВЫ

3.1. СТРОЕНИЕ ВЕРХНЕЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Столица России — древний город Москва — расположена на $55^{\circ}45'$ северной широты и $37^{\circ}37'$ восточной долготы в центре глубокого прогиба кристаллического фундамента Русской платформы, формирующего Московскую котловину. Москва находится на стыке трех физико-географических районов с различными по происхождению рельефами. Северо-запад города приходится на периферию Смоленско-Московской возвышенности (южный пологий склон Клинско-Дмитровской гряды), для которой характерны сглаженные формы рельефа с абсолютными отметками высот 175–185 м. Северные отроги Москворецко-Окской морено-эрозионной равнины (Теплостанская возвышенность) входят в пределы города с юга и представляют собой глубоко расчлененную оврагами, балками увалистую эрозионную поверхность с абсолютными высотами 200–250 м, сложенную мезозойскими породами, перекрытыми морено-флювиогляциальными отложениями и покровными суглинками. Самая низкая и плоская часть Москвы — восточная, расположенная между Яузой и Москвой-рекой. Это Мещерская низменность — область распространения зандровых отложений — песков с отдельными поднятиями морен, погребенными руслами и озерными котловинами и с неглубоким залеганием верхнеюрских глин. Абсолютные отметки рельефа здесь достигают 160 м. Срединное положение в городе занимает долина Москвы-реки. Абсолютная отметка уреза реки у входа в город (Спасский мост МКАД) примерно 125 м, а абсолютная отметка уреза на выходе из города (Бесединский мост МКАД) 109 м.

Основные особенности рельефа Москвы сформированы процессами последней ледниковой эпохи, изменены многовековой деятельностью Москвы-реки и ее притоков, которые разработали широкую долину с тремя террасами и поймой. На протяжении последнего столетия в связи с ростом урбанистической деятельности рельеф города был существенно сглажен. Холмы были срезаны; речки, ручьи, овраги, болота и ложбины были засыпаны, а водотоки взяты в трубы. Практически вся Москворецкая пойма сегодня подсыпана и застроена.

Климат Москвы обусловлен положением города в умеренных широтах Евразийского материка и определяется как умеренно континентальный, т.е. подверженный влиянию как суши, так и Атлантического океана. Сильных морозов и зноя в Москве почти не бывает, но отклонения температуры воздуха от среднегодовых норм довольно часты. Положительные температуры воздуха держатся в Москве в среднем 194 дня, отрицательные — 103 дня. Продолжительность солнечного сияния 1568 ч. Средняя температура самого холодного месяца — января колеблется от $-8,8$ до $-9,7$ °С в центре города и до $-10,3$ °С на его периферии. Самый теплый месяц года — июль. Средняя температура июля составляет от 18 до 19,3 °С. Различия температур на территории города и в прилегающей местности определяются, в основном, тремя факторами: адвекцией тепла, радиационным балансом и теплопроводностью подстилающей поверхности. Зимой «остров тепла», формирующийся над городом, возникает за счет сжигания огромного количества топлива на ТЭЦ и в двигателях внутреннего сгорания автотранспорта и за счет больших теплопотерь зданий. Контрасты температурного поля в этот период достигают 2 °С. Более теплый центр города формирует восходящее движение воздушной массы и центростремительный подток более прохладного воздуха с периферии.

Для Московского региона характерно убывание количества осадков в направлении с северо-запада на юго-восток и восток, составляя в среднем 644 мм в год. В то же время над самой Москвой количество осадков резко возрастает — на 190–250 мм в год.

Относительная влажность (способность к испарению) имеет обратный по отношению к температуре воздуха ход. В холодное время года относительная влажность в среднем равна 82–84%, а в теплое (май–август) — 59–69%. Для холодного сезона преобладает западный перенос воздушных масс, обусловленный общим характером атмосферной циркуляции; с увеличением циклонической деятельности преобладают ветры западного, юго-западного и южного направления. В теплый сезон учащаются северные и северо-западные ветры.

За период с 1954 по 1995 г. фиксируется ежегодное повышение среднегодовой температуры на 0,02 °С. За это же время снизилась прозрачность воздуха, возрос средний балл облачности и число облачных дней и, соответственно, снизилась суммарная продолжительность солнечного сияния и показатели солнечной радиации.

В начальный период застройки города по долинам Москвы-реки и ее притоков были развиты плодородные аллювиально-луговые и лугово-болотные почвы, а на водораздельных пространствах — дер-

ново-подзолистыс. На урбанизированных территориях естественный почвенный покров уничтожен или погребен и формируется как урбозем на техногенных отложениях. Городские почвы характеризуются отсутствием выраженных генетических горизонтов в своем профиле, очень часто содержат примеси мусора, обломков кирпича и бетона, металлолома, шлака, золы и др. Для урбоземов характерна уплотненность, низкая пористость. Это приводит к затруднению газообмена и влагообмена в почвах, снижению фильтрационных свойств. Большая часть городских почв имеет нейтральную или слабощелочную реакцию и крайне неравномерное содержание органического углерода в верхних слоях (0,5–10%). Низкое содержание углерода связано с опесчаненностью, вытоптанностью почв и срезанием верхнего, гумусированного горизонта, а высокое — с внесением торфокомпостных смесей на газоны и с загрязнением почв битумно-асфальтовыми примесями вблизи дорог и предприятий.

Гидрогеологический разрез Москвы определяется ее приуроченностью к Московскому артезианскому бассейну (МАБ) — крупной платформенной структуре, характеризующейся зональным и этажным строением.

Верхний гидрогеологический этаж представлен рыхлыми четвертичными отложениями аллювиального, флювиогляциального и ледникового генезиса, а также более древними средне- и верхнемезозойскими отложениями меловой и юрской систем. Проницаемость и емкость горных пород, по преимуществу песков, высокая, скорости водообмена большие, связь с поверхностными водами и с атмосферным питанием прямая. В составе верхнего гидрогеологического этажа условно выделяются три водоносные толщи пород и две разделяющие (водоупорные) толщи. Водоносные породы в аллювии низких террас и поймы Москвы-реки и ее притоков формируются в тесной связи с реками, имеют близкий к ним режим качества и уровней, определяемый изменчивостью гидрографа. На состав подземных вод сильно влияют подсыпки техногенных грунтов, особенно на застроенных поймах, свалки, гаражи и промплощадки по берегам рек. По речным долинам Сходни, Яузы, Сетуни известны так называемые древние ложбины стока, т.е. переуглубленные на 30–70 м русла постледниковых водных потоков, отводивших большие расходы талых вод от края ледника на юг. Как правило, эти ложбины выполнены грубозернистыми и гравелистыми песками с высокой проницаемостью. Напомним, что Громовый Ключ и еще 40 родников в Мытищах, ставшие основой первого Московского водопровода, имеют именно такое происхождение, т.е. питаются водами пере-

углубленной долины Праяузы. Общая мощность отложений первого гидрогеологического этажа меняется в зависимости от рельефа и составляет 20—170 м. Флювиогляциальные отложения и аллювий высоких террас распространены практически повсеместно, но большее развитие получили в восточной части Москвы, в зандрах Мещерской низменности. Это — преимущественно хорошо сортированные и высокопроницаемые водоносные пески, весьма слабо защищенные от поверхностного загрязнения. В этом районе расположены крупнейшие промплощадки Москвы, а также поля фильтрации, депонирующие сооружения и иловые карты Люблинской и Курьяновской станций аэрации. В качестве разделяющей толщи обычно выступают одна или две моренные толщи, сложенные плохо сортированным суглинком с включениями песка, валунов и редких линз гравия и гальки. Утечки из подземных водонесущих коммуникаций вызывают подъем уровней всех перечисленных водоносных горизонтов и комплексов, формируют в толще морены и в покровных (в том числе техногенных) отложениях верховодку, что негативно сказывается на состоянии инженерных сооружений и качестве окружающей среды. Воды первого гидрогеологического этажа — грунтовые, «безнапорные», т.е. обладают свободной поверхностью или имеют локально небольшой избыточный напор над кровлей пласта.

Второй гидрогеологический этаж слагают древние палеозойские породы каменноугольного и девонского возраста. Это — преимущественно известняки и доломиты с подчиненными прослоями глины в верхней части разреза и существенно терригенные отложения (песчаники, алевролиты и аргиллиты) в нижней, девонской части разреза. Общая мощность второго этажа — до 1500 м. Водоносные отложения верхнего, среднего и, частично, нижнего карбона содержат пресные, преимущественно гидрокарбонатные кальциево-магниевые воды с повышенным содержанием сульфат-иона, хлоридов и натрия и с минерализацией до 0,5—1,0 г/дм³, интенсивно используемые для централизованного водоснабжения практически всех городов Подмосковья. На территории самой Москвы эти воды эксплуатировались повсеместно до 60-х гг. XX в. В настоящее время в Москве работают несколько крупных ведомственных водозаборов и коммунальные в Люберцах и Зеленограде. Водоотбор из горизонтов карбона составляет не менее 250 тыс. м³/сут. К этому расходу следует добавить еще 150 тыс. м³/сут воды, извлекаемой при дренажах и водоотливе при строительстве и эксплуатации сооружений метрополитена. Наиболее крупные ведомственные водозаборы расположены в районах: Ховрино, Лихоборы, Останкино, Ростокино, Москворечье, Черкизово,

Центр, Павелецкий вокзал, Ленинский проспект. В результате длительной эксплуатации сработаны избыточные напоры в основных водоносных горизонтах карбона: касимовском, мячковско-подольском, каширском и окско-протвинском. Зафиксировано загрязнение этих вод на многих участках в Москве.

Примерно на глубине 400 м от поверхности земли, по низам нижнего карбона, проходит *граница между верхней гидродинамической зоной интенсивного водообмена и зоной затрудненного водообмена*. В последней связь с поверхностными водами и атмосферой практически не ощущается, питание водоносных горизонтов и комплексов формируется за счет слабого перетекания из вышележающих горизонтов и комплексов. Скорости движения подземных вод по пластам не превышают нескольких метров или десятков метров в год.

Здесь же можно провести границу и между гидрогеохимическими зонами. Если в первом гидрогеологическом этаже развиты пресные воды гидрокарбонатного типа, то в нижнем карбоне встречаются солоноватые, с минерализацией 4–5 г/дм³, воды сульфатного типа. Известные представители этих вод — минеральные столовые воды «Московская» и «Тарусская» с характерной горчинкой, вызванной наличием сульфатов кальция и магния. Мощность этой гидрогеохимической зоны невелика — около 200 м. Ниже по разрезу развиты соленые и рассольные воды хлоридного типа. В песчаниках среднего и нижнего девона минерализация воды достигает 100–200 г/дм³. Эти воды используются, с разбавлением или без разбавления, для бальнеологических нужд.

Третий гидрогеологический этаж, самый нижний, представлен породами кристаллического фундамента, залегающего на глубинах от 1800 до 2400 м. В наиболее прогнутых и опущенных частях на кровле фундамента залегают вендско-кембрийские и рифейские песчано-глинистые отложения общей мощностью до 500 м. Эти породы содержат хлоридные натриевые крепкие рассолы с минерализацией более 250 г/дм³, с большим содержанием брома (до 1 г/дм³) и иода (до 30 мг/дм³). Рассолы извлекают на московских ТЭЦ для регенерации колонок с ионообменными смолами, используемыми для умягчения воды. Проницаемость и емкость водовмещающих пород здесь заметна лишь в трещиноватых зонах. Эта часть гидрогеологического разреза относится к зоне весьма затрудненного водообмена, где связи с поверхностью земли весьма проблематичны.

3.2. ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ

Действующие на территории Москвы 23 крупных водозаборных сооружения (около 70 скважин) и влияние воронок депрессии от подмосковных городов существенно и весьма неравномерно сбавляли напоры в основных эксплуатируемых артезианских водоносных горизонтах — мячковско-подольском и окско-протвинском (соответственно на 70 и 120 м). В результате при общем водоотборе около 400 тыс. м³/сут, что примерно равно утвержденным эксплуатационным запасам, на отдельных участках (Ростокино, Останкино, Москворечье и др.) водоносный горизонт полностью или частично потерял избыточный напор и стал даже не «безнапорным», а имеет под своей кровлей зону вакуумирования. Масштабы техногенного воздействия на подземные воды таковы, что для их оценки нужно пользоваться не терминами разведочной гидрогеологии (месторождение, водозаборный участок), а понятиями региональной гидрогеологии, поскольку область существенной сбавки напоров и загрязнения охватывает практически весь центр Московского артезианского бассейна, изменяя его гидродинамическую, балансовую структуры и условия формирования химического состава в зоне интенсивного водообмена.

В результате сбавки напоров в карбоне искусственно создана предпосылка нисходящего перетекания, в связи с чем грязные грунтовые воды получили возможность перетекать в питьевые горизонты карбона. Наиболее интенсивен этот процесс под современными и древними долинами Москвы-реки и ее притоков, т.е. в местах отсутствия верхнеюрской разделяющей глинистой толщи. Именно на этих участках так называемых гидрогеологических окон формируется большая часть потерь речного стока, проявляются карстово-суффозионные процессы, приводящие к разрушению зданий и других инженерных сооружений. Здесь же различные по происхождению токсичные вещества проникают в питьевой водоносный горизонт. *Наиболее неблагоприятными* в этом отношении являются следующие районы Москвы: Щукино, Октябрьское Поле, Песчаные улицы, Мневниковская излучина, Беговая улица, Красная Пресня, Кутузовский проспект, Мичуринский проспект и Раменки, Зюзино, Нагатино, Москворечье, Бирюлево, Орехово-Борисово, Ховрино, Останкино, Ростокино, Владыкино, Черкизово, Косино-Ухтомский и др. Перечень более конкретных адресов с указанием конкретных владений приводится ниже [1, 14].

**«Золотой Остров» между Москвой-рекой и Водоотводным каналом
Правый берег:**

1. Вертолетная площадка и парк моторных лодок у Крокус-Сити (МКАД)
2. СНТ «Речник» у северного окончания Гребного канала
3. Промзона между улицами Новозаводская и Мясищева
4. Площадь Киевского вокзала, путевое развитие и здания на площади
5. Москва-Сити
6. Дербеневская наб., 7 — Дербеневский химзавод
7. Железнодорожная станция Москва-Павелецкая-Товарная
8. Промзона между Холодильным проездом и Даниловской набережной
9. Промзона на Нагатинской набережной, 37. Устье р. Котловки
10. Промзона «Южный порт»
11. Гаражи у ж.д. моста и платформы Москворечье
12. Отстойники в устье р. Городня
13. Гаражи у 19 км МКАД

Левый берег:

1. Промзона на Волоколамском шоссе, вл. 91–97
2. Промзона на Летной ул., берег р. Сходни
3. Новоспасский пруд
4. Промзона на Автозаводской ул., вл. 20
5. Промзона на ул. Ленинская Слобода, вл. 26
6. Промзона на Автозаводской ул., вл. 23, Зил
7. Промзона на ул. Тюфелева Роща, вл. 13
8. Весь левый берег Москвы-реки от Кожуховского моста до Нагатинского моста, включая Старое русло, промзоны
9. Курьяновская станция аэрации
10. Промзона на Донецкой ул. и Проектируемом проезде 4386
11. Гаражи между Батайской ул. и Москвой-рекой
12. Долина Чагинского ручья
13. Отстойники на МНПЗ
14. Отстойники ливневой канализации между 1-м Капотнинским пр. и Москвой-рекой
15. Гаражи на южной оконечности пос. Капотня

Долина р. Яузы

Правый берег:

1. Гаражи между ул. Северодвинской и Яузой
2. Гаражи между Яузой и ул. Широкой, вл. 28
3. Гаражи между Яузой и ул. Осташковской, вл. 18
4. Гаражи у проезда Шокальского, вл. 52
5. Пруды между Яузой и ул. Сухонской, вл. 5 и 7
6. Медведковское кладбище
7. Промышленно-транспортная зона на ул. Сельскохозяйственной, вл. 64
8. Промышленно-транспортная зона, Сельскохозяйственная ул., вл. 40–50

9). Промышленно-транспортная зона между Яузой и пр. Серебрякова

10. Пруды между ул. Сельскохозяйственной и Яузой

11. Промзона «Ростокино», Сельскохозяйственная ул., вл. 6–8

Длительная, более 150 лет, хищническая и слабоконтролируемая эксплуатация артезианских вод из карбона привела к формированию обширнейшей области депрессии (сработки) напоров, простирающейся до Звенигорода на западе, до Сергиева Посада на севере, до Ногинска и далее на востоке и до Серпухова на юге. В центре этой области снижение напоров превышает 100 м, а темп сработки в конце XX в. составлял 1 м/год. В результате на большей части этой территории артезианские воды утратили право так называться — их избыточный напор над кровлей сработан. Буровые скважины, вскрывающие воды карбона на востоке Москвы, засасывают в себя воздух, потому что уровень бывших артезианских вод оторвался от кровли перекрывающего водоупора. Во всей области депрессии создалась предпосылка нисходящего перетекания, исчезли восходящие родники, которыми славилась старая Москва, прекратилось питание рек чистыми и холодными водами и, напротив, часть речной воды (до 30%) теперь уходит на питание истощенных водоносных горизонтов. В последние 10–15 лет наблюдается стабилизация или даже тенденция к подъему уровней артезианских вод из-за сокращения водоотбора промышленными предприятиями из-за снижения деловой активности и роста платы за воду.

В 1996 г. была разработана и принята Генеральная схема водоснабжения Москвы и городов Московской области за счет подземных вод. С водохозяйственных позиций эта схема выглядит весьма привлекательно, так как предлагает Москве дополнительный и хорошо защищенный источник водоснабжения с расходом около $3,5 \text{ м}^3/\text{с}$ (более 300 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$). Но следует отметить, что достаточной научной и экологической основы для оценки последствий такого интенсивного вмешательства в экосистему Генсхема не имеет. Действительно, мощные откачки из того же карбона в Талдомском районе, в долине р. Сестры и у канала им. Москвы, в долине Москвы-реки западнее Звенигорода, в долине р. Оки от Серпухова до Ступина и в долине р. Клязьмы от Ногинска до Петушков могут привести к существенному расширению региональной области депрессии со всеми негативными последствиями. Одно из таких последствий — осушение торфяников и рост пожароопасности.

Абсолютные отметки пьезометрических уровней основных артезианских горизонтов (их напоры) лежат в интервале от 80 до 110 м,

в то время как урез Москвы-реки (в среднем) 115 м, а напоры грунтовых вод варьируют от 113–125 м в долинах рек до 215 м на Теплостанской возвышенности.

Прогрессирует загрязнение всех компонентов городских экосистем, и прежде всего водных, поскольку основной механизм переноса загрязняющих веществ происходит в форме водных растворов.

Кроме уже упомянутых утечек из подземных водонесущих коммуникаций, в качестве источников загрязнения поверхностных и подземных вод следует рассматривать: многочисленные свалки в бывших карьерах, оврагах и по берегам речек; загрязненные токсичными атмосферными выпадениями почвы и снег; рски и другие водоемы, принимающие сточные воды; донные отложения; наземные резервуары горюче-смазочных материалов; поверхностный сток с улиц, дорог и площадей.

Рассмотрим эти *источники загрязнения* в Москве несколько подробнее.

Почвы. Они накопили весьма большое количество загрязняющих веществ в высоких концентрациях (в сотни раз выше фоновых). Главными токсинами почв стали вещества, генетически связанные с атмосферными выпадениями и работой автотранспорта, т.е. свинец, олово, кадмий, углеводородное топливо и соли противогололедных смесей. Урбomorphicные почвы характеризуются малой емкостью и низкой буферностью по отношению к тяжелым металлам, что приводит к формированию сильно загрязненного инфильтрационного потока, просачивающегося сквозь почвы и породы зоны аэрации и питающего грунтовые воды.

Свалки бытовых и промышленных отходов. Старые и совсем недавние — их на территории сегодняшней Москвы более сотни. Отходы в Москве традиционно свозились на свалки, которые чаще всего устраивались в отработанных карьерах строительных материалов (кирпичные суглинки, пески, гравий, бутовый камень, известняк и др.) или на берегах мелких речек и оврагов. В целях экономии, а зачастую и по невежеству дно и стенки таких карьеров не изолировались и не экранировались; токсичный и зловонный свалочный фильтрат просачивался к грунтовым водам, формировал «источники» и стекал в реки. Таковы практически все московские речки: верхняя Яуза, Чермянка, Лихоборка, Котловка и Кожуховка, Городня и Чертановка в нижнем течении, Сетунь с притоками Очковкой, Раменкой и Неверашкой. Состав фильтрата обычно таков: общая минерализация — около 20 г/дм³; растворенные соли — хло-

риды, сульфаты, гидрокарбонаты, органические кислоты (яблочная, уксусная, молочная, пировиноградная и др., титрующиеся вместе с гидрокарбонат-ионом); ураганные концентрации тяжелых металлов (тысячи ПДК); бактериологическое и часто радиохимическое загрязнение. Если учесть, что на территории Москвы более сотни насыпанных свалок, а в Московской области более 230 только крупных свалок (площадь которых выше 5 га), то становится понятным, почему на карте загрязнения грунтовых вод города нет белых пятен. Можно назвать районы, где были отдельные глубокие карьеры и их группы, использованные впоследствии под свалки твердых отходов: Головино (северо-запад), Ховрино, Владыкино, Черемушки, Воронцово, Зюзино, Раменки. Крупные жилые районы построены на бывших свалках города: Митино, Ново-Косино, Брагеево, Марьино и др.

Политика городских властей в отношении мусора не меняется уже более 850 лет — отходы выбрасываются если не себе под ноги, то в самый ближайший овраг или яму. На примере восточного сектора Москвы это легко показать. Вначале заполнялись карьеры в Косине (сейчас это уже Москва), затем стали заполнять карьер в Кучине (16 км от МКАД), далее Тимохово (50 км от МКАД) — самая крупная свалка в Европе, уже отведен под свалку следующий полигон — Берендино в 90 км от Москвы, на границе Орехово-Зуевского, Егорьевского и Воскресенского районов.

Мусор предпочитают сваливать и захоронять без первичной сепарации и как можно ближе к месту его происхождения. Поэтому Москва, развиваясь вширь, наступает на собственные свалки. Следует еще и помнить, что на одного жителя Москвы в сутки приходится более 1 кг мусора.

Очистные сооружения и иловые карты московских станций аэрации (Люблинской, Курьяновской, Люберецкой и ряда мелких). Фильтрация грязных вод идет от отстойников, аэраторов и иловых карт, в которые захоранивались осадки сточных вод. Создан парадокс — сооружения, предназначенные для очистки стоков перед их сбросом в поверхностную речную сеть, превратились в мощные источники загрязнения подземных вод.

Промплощадки, полосы отвода и отчуждения транспортных магистралей и железнодорожных терминалов. Утечки из внутривоздушной трубопроводов и резервуаров фиксируются практически на каждом предприятии. Вертикальная планировка, система ливневой канализации и локальные (иногда кустовые) очистные сооружения находятся, как правило, в неудовлетворительном состоянии.

В результате грунтовые воды под площадками оказываются сильно загрязненными разнообразными, в том числе токсичными, веществами. Так, под территорией Московского нефтеперерабатывающего завода в Капотне на поверхности грунтовых вод образовалась «пленка» нефтепродуктов толщиной около 1 м. Сильно загрязнены воды под территорией Дорогомиловского химического завода (ПО «Пластик» на Бережковской набережной), промзоны ЗИЛа, АЗЛК, Карачаровского механического завода и полоса промзон от Павелецкого вокзала на юг через Нагатино на Бирюлево и далее к Бутово и Щербинке. Московская окружная железная дорога, когда-то бывшая границей Москвы, протрассирована у пересечений Москвы-реки и Яузы по руслам засыпанных или забраных в трубы ручьев и оврагов. Это — Андреевский ручей у Нескучного сада, Кобылий овраг у ст. метро Кутузовская, Золотой Рожок у Рогожской заставы и др. Вдоль всех этих русел до сих пор сохранились подрусловые потоки грунтовых вод, принимающие на себя всю грязь полос отчуждения. Вдобавок эти подрусловые потоки приурочены к полосам аллювия высокой проницаемости, поэтому все загрязняющие вещества попадают в реку довольно быстро.

Сельскохозяйственные угодья. Также имеются на территории Москвы. Это поля, теплицы и животноводческие фермы бывшего совхоза в Косине, приусадебные участки в Терехове на Мневниковкой пойме, в Бутове, садоводческое товарищество «Речник» и др. Если осуществляются планы расширения территории Москвы на юго-запад, то в черту города попадут более 1 тыс. км² сельских земель. Кроме того, в долинах р. Сетуни, Очаковки, Раменки, Натошенки, Сходни, Битцы, Гвоздянки и других малых речек расположены огороды москвичей на самозахваченных пустующих землях. Применение минеральных и органических удобрений здесь — скорее правило, чем исключение. С поверхностным и подземным стоком определенная их часть попадает в реки и озера, а далее — в артезианские воды.

Экстенсивный характер ведения коммунального хозяйства Москвы приводит к усугублению уже сложившихся геоэкологических проблем города и возникновению новых. Рассмотрим некоторые из них.

Водоснабжение. Первый современный московский водопровод, снабжавший водой быстро растущую разводящую сеть, основывался на подземных водах Мытишинского месторождения. Водопровод этот был построен в 1892 г. и давал 1,5 млн ведер в сутки. Эксплуатация артезианских вод и наращивание мощности этого водопровода

до 4 млн ведер в сутки привели к ухудшению качества мытищинской воды, и в 1903 г. была построена Рублевская водопроводная станция, снабдившая город москворецкой водой. В 1912 г. на одного москвича приходилось 4,2 ведра в сутки, т.е. по 42 л. В 1990-х гг. при проектировании новых жилых районов использовалась норма 420 л/сут, и в годы последних пятилеток (1980-е гг.) ставилась задача довести суточное водопотребление до 1 м³ на душу населения.

В настоящее время ресурсы Мытищинского водозабора почти полностью исчерпаны и их используют не для Москвы. Рядом с Рублевской работает Западная водопроводная станция, причем обе забирают 85% стока Москвы-реки, что является опасным пределом. Ниже река пополняется за счет переброса воды из Химкинского водохранилища, сброса ливнестоков и разгрузки грунтовых вод.

В 1937 г. от Иваньковского водохранилища у Дубны к Москве была подведена волжская вода. Были созданы несколько водохранилищ, снабжающих постепенно отстаивающейся водой главное из них — Учинское, из которого берут воду Северная (у пос. Долгопрудный) и Восточная (пос. Восточный на Шелковском шоссе у МКАД) водопроводные станции. К Восточной станции вода подается по двум ниткам открытого самотечного канала, пересекающего реки Клязьму, Яузу и весь Лосиный Остров. В 1992 г. производительность Московских водопроводных станций составляла, тыс. м³: Рублевской — 1650; Западной — 1700; Восточной — 1400; Северной — 1900.

Конечно, такая большая подача воды в Москву чревата и значительными потерями, в том числе и в грунтовые воды. Потери в системе Московского водопровода в 1992 г. составили 12%, т.е. около 690 тыс. м³/сут.

Волжская вода приходит к Москве по судоходному каналу с загорфованной и промышленно развитой территории водосбора. На водопроводных станциях эту воду приходится очищать от органического детрита, нефтепродуктов, снижать цветность и окисляемость, обеззараживать, уменьшать концентрации алюминия, хлорорганических соединений и бенз(а)пирена.

Москворецкая вода еще более грязная, так как водохранилища расположены в верховьях самой Москвы-реки и ее притоков, а основные загрязнения поступают от земледельческих, животноводческих, промышленных и коммунальных источников ниже водохранилищ. В результате на Рублевской и Западной станциях необходимо существенно снижать концентрации азотсодержащих ионов, фосфатов, окисляемости, хлорорганических соединений, пестицидов,

марганца и железа, кадмия, полициклических ароматических углеводородов, в том числе бенз(*a*)пирена, хрома, меди и цинка.

Водоподготовка приводит к образованию больших масс осадка, т.е. пульпы, содержащей все перечисленные компоненты, частично извлеченные из питьевой воды. Для хранения осадка занимаются значительные площади вокруг водопроводных станций, им заполняются карьеры, озера, болота, устраиваются специальные наземные карты-хранилища. Все эти сооружения являются источниками загрязнения природных вод.

Водоотведение. В Москве имеются несколько систем водоотведения. Наиболее старая, существующая с 1898 г. (1-я очередь с Люблинскими полями фильтрации и 2-я очередь с Люберецкими полями орошения, вступившими в работу с 1911 г.), — хозфекальная канализация. В системе водоотведения — линейные и очистные сооружения, носящие в Москве название станций аэрации. Сточные воды на станциях аэрации проходят механическую и биологическую очистку. Образовавшийся на очистных сооружениях осадок ранее смешивался с торфяной крошкой или с опилками, превращался в «кск» — великолепное удобрение для подмосковного земледелия.

С 1937 г. в хозфекальную канализацию сбрасываются и промышленные стоки, как правило прошедшие только механическую (от песка и нефтепродуктов), весьма несовершенную очистку. Такие смешанные нечистоты носят название «городские сточные воды» и содержат много токсичных веществ промышленного происхождения: тяжелые металлы, синтетические поверхностно активные вещества, нефтепродукты, растворы солей, кислот и щелочей. Эти вещества являются весьма ядовитыми для микрофлоры (активного ила), которая и обеспечивает биологическую очистку сточных вод. Естественно, что зараженные тяжелыми металлами осадки вывозить на поля как удобрения нельзя. Создалась ситуация, противоречащая основным законам экологии, — нарушен круговорот «органики» в природно-хозяйственной системе города, и теперь необходимо искать способы захоронения токсичных отходов, занимая при этом земли и рискуя загрязнить природные воды, почвы и другие компоненты экосистемы.

Единой системы промышленной канализации в Москве нет. Промстоки, как правило, малоэффективно очищаются на внутризаводских или кустовых очистных сооружениях, где в основном проходят примитивную механическую очистку на песколовках и нефтемаслоловушках.

Система дождевой канализаций, водостоки, повторяют уничтоженную гидрографическую сеть. В коллекторы забраны реки, ручьи и овраги, в которые собирают дождевые, снеготалые и поливомочные воды с улиц города.

Линейные сооружения канализации строятся из труб различного диаметра — керамических, асбоцементных и железобетонных, имеющих раструбное соединение. Согласно строительным нормам кольцевые шели в соединениях труб должны герметизироваться. Вместе с тем допускается некоторый приток грунтовых вод (инфильтрация) в канализационные коллекторы, но не более 10% от расхода в нем, а эксфильтрация не допускается. Между тем понятно, что если шель негерметична, то направление потока в ней определяется разностью напоров в трубе и за ее стенкой. Как закономерный результат реализации этих норм большинство стыков труб подземных водонесущих коммуникаций текут. Эти утечки привели к тому, что около 40% территории Москвы являются подтопленными грунтовыми водами и верховодкой.

Кладбища. Обычно этой деликатной темы не касаются, но глубина проблемы удручает и затрагивает, помимо социальных, вопросы охраны природных вод. Здесь целесообразно кратко обсудить лишь два аспекта: о размерах некрополей и о кладбищенском сроке.

Современные, новые кладбища стали похожи на строительную площадку. Отдельных могил не роют, а с помощью строительной техники проходят траншеи. Естественно, что для этого нужны как можно большие площади. Но, ни в Москве, ни в ближайшем Подмосковье требуемых земельных массивов в 40 га и более уже нет. Поэтому проектировщики уходят либо все дальше от мегаполиса (на 35—50 км), либо проектируют кладбища на совершенно непригодных землях: болотах, пустырях, чуть ли не на свалках. Проект расширения Богородского (Тимоховского) кладбища (3 участка по 40 га) в 50 км от Москвы располагает некрополь рядом с крупнейшей в Европе свалкой. Нахождение для кладбищ мелких участков земли представляется предпочтительным и перспективным для столицы и ее ближайших окрестностей.

Под кладбищенским сроком понимается необходимый минимальный интервал времени для повторного захоронения. Он определяется сугубо гидрогеологическими особенностями: составом и проницаемостью зоны аэрации, ее влажностью, глубиной залегания грунтовых вод, их режимом и т.п. Понятно, что чем короче кладбищенский срок, тем меньше места нужно для некрополей. Чем более мощной, проницаемой и сухой является зона аэрации, тем короче

кладбищенский срок. Отсюда следует всего один, но важный вывод — пора отказаться от «остаточного принципа» при проектировании кладбищ, а обосновывать их специально как важный объект городской инфраструктуры.

Естественная и искусственная защищенность грунтовых вод в Москве низки, что обусловлено широким распространением аллювиальных проницаемых отложений в долине Москвы-реки и ее притоков и флювиогляциальных, зандровых полей на востоке столицы, т.е. на левом борту долины ниже впадения р. Яузы, где город занимает часть Мещерской низменности. Спланированные и заасфальтированные площади в Москве составляют 30–35% всей территории, но сток с них организован системой дождевой канализации, возможность утечек из которой лишь снижает степень защищенности грунтовых вод.

В результате *практически все грунтовые воды Москвы оказываются в той или иной степени загрязненными*. На карте загрязнения подземных вод нет белых пятен — на всей территории города потоки грунтовых вод накапливают в себе и медленно несут к рекам и другим водоемам огромные массы загрязнений. Предпосылка нисходящего перетекания, о которой говорилось выше, способствует проникновению загрязненных вод из рек и из грунтовых вод вниз, к артезианским горизонтам, повсеместно используемым для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Наличие загрязненных вод в карбоне отмечено под Люблинскими полями фильтрации (современный район Марьинский Парк), у Дербеневской набережной и в Нагатине, у Южного порта и в Курьянове.

Поступление грязных, в большей части кислых вод в карбонатные трещиноватые и закарстованные породы карбона, сработка напоров в нем и резко невыдержанный режим колебания уровней, аквизация нисходящего перетекания, что обусловлено работой водозаборов и гидротехнических сооружений, — все это провоцирует множество опасных геологических процессов и явлений: суффозию, оживление карста, оползания и др. Так, суффозионные провалы отмечены в центральных частях Москвы — возле ГУМа, в Кремле, на Тверской улице, на Ваганьковском холме и в других местах. В связи с выносом песчано-глинистого материала из древних карстовых пустот при интенсивных откачках из каменноугольных водоносных горизонтов образуются провалы и воронки размерами от 1 до 40 м в диаметре и глубиной 3–8 м. Провальные явления разрушили несколько жилых домов в городе, нарушили целостность проезжих частей улиц в Хорошевском районе. Потен-

циальная опасность провалов грозит зданиям на 15% площади города — в полосах вдоль древней долины реки Прамосквы (Хорошево, Красная Пресня, Замоскворечье, Косино), продолины Яузы и, вполне возможно, других левых притоков: Истры, Сходни, Баньки, Нищенки, Пехорки.

Одним из важных факторов формирования гидрогеоэкологической обстановки в Москве является тесная и неоднозначная связь поверхностных и подземных вод.

В естественных гидродинамических условиях, т.е. до середины XIX в., и грунтовые, и межпластовые воды разгружались в Москву-реку и ее притоки. Около 30% меженного расхода рек определялось тугой разгрузкой. На дне рек и в тыловых швах низких террас били восходящие родники, пользовавшиеся у москвичей заслуженной славой как источники очень чистой, здоровой и вкусной воды. Родников было много, и среди них большим почетом пользовались «святые колодцы», расположенные в Коломенском, в Трехгорном парке — родник Студенец (ныне Краснопресненский ПКиО), Святой родник у церкви Рождества Богородицы в Крылатском, родник Царевна Лебедь в Покровском-Стрешневе, родник ниже церкви Живоначальной Троицы на Воробьевых Горах и др. Недаром москвичей издавна дразнили «московскими водохлебами».

Начиная со Средневековья москвичи сильно загрязняют свои речки и овраги, заполняя их мусором и всяческого рода отходами. То, что археологи называют «культурным слоем», с наших позиций скорее следует считать «некультурным» слоем — слежавшимся мусором, дающим растворимые загрязняющие вещества рекам и по сей день.

При строительстве канала им. Москвы в 1936–1937 гг. были построены плотины на самой Москве-реке и на ее притоках. В результате в черте города имеются Химкинское водохранилище на северо-востоке, Карамышевская плотина и гидротехническая система со шлюзами, Перервинская плотина и гидроузел, Бесединская плотина. Река в пределах города превращена в каскад русловых водохранилищ. Часть старых плотин при этом была разобрана (Бабьегородская, Краснохолмская). Создание водохранилищ сопровождается формированием потоков подпора под основанием плотин и в обход ее плеч. Речная вода просачивается в берега, уровни грунтовых вод растут, что сказывается на степени подтопленности территории. Такие зоны подпора отмечаются в Москве по берегам всех вышеуказанных водохранилищ. В наибольшей степени подтопление проявляется в низменном Замоскворечье, в районах: Якиманка, Даниловский, Дон-

ской, Нагатинский Затон. Для борьбы с подтоплением в Москве еще в 1786 г. был построен Обводной канал, спрямившей излучину Москвы-реки у Кремля. Ниже, у Шлюзовой набережной, на правом берегу действует мощный дренаж, понижающий уровень грунтовых вод в районе Павелецкого вокзала, Дербеневской промзоны и Кожевнических улиц.

В этой связи актуальным является вопрос о химическом составе и качестве москворецкой воды. Выше города Москва-река принимает 100 млн м³/год промышленных и недоочищенных хозяйственно-бытовых стоков, а также стоков от сельскохозяйственных предприятий, содержащих более 7 млн т/год загрязняющих веществ. По каналу им. Москвы в город приходит вода из Иваньковского водохранилища на Волге, куда сбрасывают свои стоки предприятия и коммунальные службы Ржева, Торжка, Твери и Конаково (всего около 150 источников загрязнения).

Если на входе в город поверхностные воды еще чистые (лишь по отдельным показателям превышены ПДК), то на выходе из черты Москвы речная вода характеризуется весьма высокой загрязненностью. Приведем некоторые показатели загрязненности по створу у Капотни (Госдоклад, 1993 г.): «величина рН — 8,1; растворенный кислород — 4,7 мг/дм³; БПК₅—31,2 мг/дм³; минерализация — 488 мг/дм³; жесткость — 5,2 мг-экв/дм³; тип воды — гидрокарбонатный кальциевый. По специфическим загрязняющим компонентам показатели таковы: СПАВ (синтетические поверхностно активные вещества) — 3,5 ПДК; нефтепродукты — 5,5 ПДК; фенолы — до 15 ПДК; железо — до 12 ПДК; медь — 10 ПДК; цинк — 2 ПДК (сравнение проводится с ПДК рыбохозяйственными)».

Большая часть загрязняющих веществ скапливается в донных отложениях Москвы-реки. При этом чем более глинистыми являются донные отложения, тем выше в них содержание тяжелых металлов и других загрязняющих веществ. Участки дна, сложенные глинами и илами, приурочены к плесам. Такими плесами в русле Москвы-реки являются Строгинская излучина, участок между Татаровым и Хорошевским спрямлением, Лужнецкая излучина, Новинковский рукав, участок от Чагинского колена до Бесединского моста. В этом последнем плесе донные отложения характеризуются наибольшей загрязненностью (по величине отношения полученных концентраций к фоновым): серебро — 12; цинк — 12,5; бериллий — 5; висмут — 4; ванадий — 7,5; никель — 5,9; бор — 5; ртуть — 13; мышьяк — 5,7.

В современных условиях сработки напоров в артезианских горизонтах карбона реализуется предпосылка нисходящего перетекания

и сильно загрязненная московская, яузская, сходненская, сетунская и др. речные воды имеют возможность заражать питьевые эксплуатируемые водоносные горизонты.

На территории Москвы не так много озер. Если исключить единичные из оставшихся старичных озер на Мневниковской излучине, в Строгинской пойме и в низовьях р. Городни, то останутся три озера в Косине, на самых восточных окраинах города. Косинское трехозерье включает Черное, Белое и Святое озера. Несмотря на географическую близость озер, их геоэкологические характеристики различны.

Расположенные по меридиональной оси и соединенные протокой, Черное и Белое озера сформировались в глубокой ложбине постледникового стока. Глубина ложбины — около 25 м, и своим днищем она близка к подошве верхнеюрского водоупора. Нижние 12–13 м ложбины заполнены сапропелем, который играет роль своеобразной пробки, не позволяющей уйти части озерной воды в водоносный горизонт карбона с сильно сработанным напором. Попытки освободить озеро от слоя сапропеля как от загрязнителя или как от ценного полезного ископаемого чреватых катастрофическим падением уровня озера до отметок воронки депрессии близлежащих водозаборов Железнодорожного, Балашихи, Реутова и местной сельхозфирмы (пример подобного явления — падение уровня Борисоглебского озера в Раменском). По юго-западному берегу озера Черного во время Великой Отечественной войны добывали торф как топливо. Затем торфяной карьер использовали как свалку. Попытка очистить озеро и ликвидировать свалку в 2000 г. сопровождалась извлечением из карьера боевого танка, провалившегося зимой 1941 г. под лед. Феноменом этих озер является довольно интенсивный водообмен в них при очень малой площади водосбора. Из Белого озера вытекает совсем небольшой ручеек. А практически все питание и разгрузка озер проходят с помощью подземного потока, проходящего по погребенной постледниковой долине. В оба озера попадает весьма грязный сток и выброс со стороны МКАД, расположенной по отношению к озерам с наветренной стороны. В результате болотные почвы на берегах озер и их донные отложения сильно загрязнены тяжелыми металлами, нефтепродуктами и противогололедными солями. Поверхностным и подземным стоком эти вещества переносятся в озера. У северного берега Черного озера выходит маленький нисходящий родничок. Местный священник назвал его «во имя святителя Николая». Пить воду этого родника, тем не менее, нельзя. Вода содержит неприемлемо высокие концентрации нитритов

(4 ПДК и более), железа (2 ПДК), органические вещества и микрофлору.

Берега озера Святого интенсивно зарастают. Евтрофицированию озера способствует его загрязнение со стороны жилой застройки Косино и гаражей, расположенных непосредственно у уреза воды. Режимы водоохраной зоны озера нарушены, вода в озере ухудшает свое качество год от года. На дне Святого озера накапливается ил и сапропель, по берегам формируются торфяные сплавины.

3.3. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ

3.3.1. Формирование в атмосфере

Современный химический состав атмосферных осадков характеризуется минерализацией от первых десятков до первых сотен мг/дм³ и сульфатно-нитратным, аммонийно-кальциево-натриевым компонентным составом. Содержание сульфатов чаще всего превышает 25 экв.% (от 100% минерализации); нитратов ~5 и менее; аммония часто >10; кальция и натрия >(5–10) экв.% [1, 13, 14]. рН атмосферных осадков преимущественно кислые (чаще 5,5–6,9; реже ~4). В качестве исключения встречаются атмосферные осадки со слабощелочными рН, щелочность которых фиксируется по высокой концентрации (более 40 экв.%) гидрокарбонатов (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Состав атмосферных осадков

ΣМ, мг/дм ³ рН	Компоненты, $\frac{\text{мг/дм}^3}{\text{мг-экв.}\%}$									Формула* компонентного состава
	SO ₄ ²⁻	Cl	NO ₃	HCO ₃	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ⁺	
$\frac{8,95}{5,7}$	$\frac{4,8}{38,6}$	$\frac{0,5}{3,8}$	$\frac{0,65}{3,8}$	$\frac{0,49}{3,8}$	$\frac{1,37}{30,8}$	$\frac{0,7}{11,5}$	$\frac{0,25}{2,3}$	$\frac{0,18}{3,5}$	$\frac{0,01}{1,9}$	SO ₄ NH ₄ Na
$\frac{9,24}{6,5}$	$\frac{3,15}{29,0}$	$\frac{0,35}{4,0}$	$\frac{0,44}{2,9}$	$\frac{2,68}{14,1}$	$\frac{0,67}{16,4}$	$\frac{0,88}{16,4}$	$\frac{0,45}{4,1}$	$\frac{0,54}{11,1}$	$\frac{0,06}{2,0}$	SO ₄ HCO ₃ NH ₄ NaCa
$\frac{14,59}{5,4}$	$\frac{4,70}{25,0}$	$\frac{1,06}{7,0}$	$\frac{4,35}{17,0}$	$\frac{0,24}{1,0}$	$\frac{1,87}{26,0}$	$\frac{1,00}{11,0}$	$\frac{0,87}{6,0}$	$\frac{0,43}{6,0}$	$\frac{0,05}{1,0}$	SO ₄ NO ₃ nClNH ₄ NaCaK
$\frac{15,02}{5,6}$	$\frac{5,76}{27,2}$	$\frac{0,7}{4,5}$	$\frac{1,24}{4,5}$	$\frac{3,66}{13,8}$	$\frac{0,72}{10}$	$\frac{1,61}{16,7}$	$\frac{0,15}{0,1}$	$\frac{61,4}{18,0}$	$\frac{0,24}{5,2}$	SO ₄ HCO ₃ nClnNO ₃ CaNaNH ₄ nMg
$\frac{157,12}{4,2}$	$\frac{88,00}{41,0}$	$\frac{7,18}{4,0}$	$\frac{14,96}{5,0}$	$\frac{0,00}{0,00}$	$\frac{14,20}{18,0}$	$\frac{6,10}{6,0}$	$\frac{3,80}{3,3}$	$\frac{22,11}{21,0}$	$\frac{0,77}{1,7}$	SO ₄ nNO ₃ CaNH ₄ nNa
$\frac{199,11}{7,7}$	$\frac{20,00}{7,7}$	$\frac{0,82}{0,4}$	$\frac{4,00}{0,9}$	$\frac{132,49}{41,0}$	$\frac{0,18}{0,2}$	$\frac{2,20}{19,7}$	$\frac{1,90}{0,9}$	$\frac{29,10}{27,6}$	$\frac{7,32}{1,6}$	HCO ₃ nSO ₄ CaNa

* По К.Е. Питьевой.

Значительную долю веществ атмосферных осадков составляют органические соединения, на что указывают:

а) устойчиво высокое содержание азотных соединений в восстановительной форме (в частности, в форме аммония как первичного продукта разложения «органики»);

б) часто встречающиеся значительные концентрации среди катионогенных компонентов атмосферных осадков аммония как показателя процессов разложения «органики»;

в) небольшие, до нулевых, концентрации в атмосферных осадках нитратов — показателей слабого развития процессов окисления;

г) возрастание концентрации HCO_3^- в атмосферных осадках с увеличением их минерализации, что возможно в случае, когда углерод в составе HCO_3^- , помимо минерального, имеет органическую природу;

д) значительные потери при прокаливании пород, исследовавшихся силикатным анализом.

Другая гидрогеохимическая особенность атмосферных осадков заключается в значительном диапазоне минерализации, что при относительном постоянстве их компонентного состава указывает, с одной стороны, на однозначность их генезиса, с другой — на различную интенсивность поступления в них компонентов.

Широкое присутствие в атмосферных осадках компонентов, не свойственных их природному составу ($\text{C}_{\text{орг}}$, NH_4^+ , SO_4^{2-} и др.), указывает на их техногенное формирование. То есть в настоящее время атмосферные осадки в пределах Московского региона загрязнены.

За околоприродные фоновые концентрации компонентов и минерализации атмосферных осадков приняты самые низкие величины их содержаний в осадках проанализированных проб (мг/дм^3): ΣM — 4,0; SO_4^{2-} — 1,0; Cl^- — 0,3; NO_3^- — 0,4; HCO_3^- — 1,0; NH_4^+ — 0,4; Na^+ — 0,2; K^+ — 0,2; Ca^{2+} — 0,4; Mg^{2+} — 0,01; pH — 6,8–6,9.

Компоненты-загрязнители представлены макрокомпонентами SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- , NO , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и кислотностью.

Компоненты-загрязнители в связи с геохимическими особенностями, являющимися основой их миграционных характеристик, делятся на группы:

1) $\text{C}_{\text{орг}}$ в гидрокарбонат-ионе, углеводороды и генетически с ними связанные NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ , S, тяжелые металлы; 2) минеральные Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ; 3) H_2S , SO_2 и др.

Загрязнители первой и второй групп обуславливают формирование регионального загрязнения атмосферных осадков; третьей — локального.

Общие геохимические особенности регионального загрязнения атмосферных осадков: а) кислотность; б) единообразие компонентного состава, заключающееся в постоянстве сульфатного типа по анионам и аммонийного — по катионам, в значительном присутствии азотных соединений, характеризующихся часто преобладанием NH_4^+ над NH_3 ; в) присутствие среди макрокомпонентов в повышенных концентрациях калия, а в минимальных по сравнению с Na^+ , K^+ , Ca^{2+} концентрациях — магния.

Загрязнение атмосферных осадков связано с различными видами транспорта, ТЭЦ, с промышленностью, обуславливающей интенсивное поступление в атмосферу соединений «органики», азота, серы в газообразной форме, пылеватых частиц минеральных соединений, взаимодействующих с окружающей средой и друг с другом.

Общекислотное (по pH) загрязнение атмосферных осадков сопровождается загрязнением стандартными макрокомпонентами.

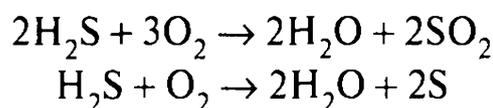
О сложности процессов формирования состава атмосферных осадков свидетельствует разнообразие состава солевых форм, которые делятся на две группы (табл. 3.2). В осадках первой группы присутствуют карбонаты кальция, натрия, магния, из сульфатов — Na_2SO_4 и в значительных концентрациях NaCl . В осадках второй группы — следовые концентрации карбонатов, но содержатся сульфаты всех макрокомпонентов (максимум — у CaSO_4), а также NaCl . Атмосферные осадки первой группы характеризуются щелочными pH; второй — кислыми.

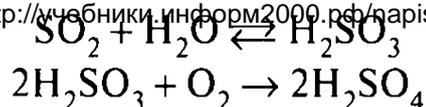
Таблица 3.2

Примеры солевых форм атмосферных осадков

ΣM , г/дм ³	pH	Солевые формы, мг-экв/дм ³						
		Ряды компонентов солей, мг-экв/дм ³						
		CaCO_3	MgCO_3	Na_2CO_3	CaSO_4	MgSO_4	Na_2SO_4	NaCl
0,2	7,7	1,45	0,6	0,15	—	—	0,42	0,23
		CO_3 2,2 > SO_4 0,4 > Cl 0,2; Ca 1,45 > Na 0,8 > Mg 0,6						
0,16	4,2	—	—	—	1,1	0,05	0,55	0,20
		SO_4 1,15 > Cl 0,2; Ca 1,1 > Na 0,8 > Mg 0,05						
0,09	6,5	0,027	0,005	0,012	—	—	0,067	—
		SO_4 > CO_3 0,04; Na 0,08 > Ca 0,03 > Mg 0,01						

Кислотность атмосферных осадков формируется при взаимодействии серосодержащих компонентов с водой и кислородом:





Образующиеся таким путем атмосферные осадки имеют $\text{pH} < 4$. Пробы с довольно низкими pH составляют не более 30%. Наиболее кислые атмосферные осадки зарождаются вблизи объектов с существенными серосодержащими газовыми выбросами. Значительно понижены pH атмосферных осадков в районе нефтеперерабатывающего завода, на участках ТЭЦ.

Количество сульфата, формирующегося в атмосферных осадках при окислении оксидов серы и сероводорода, достигает десятков мг/дм^3 . Эти количества участвуют в загрязнении подземных вод грунтового водоносного комплекса (также поверхностных вод) в комплексе с другими (стоками и пр.) источниками их загрязнения сульфатами.

В среднем содержание в атмосфере SO_2 сотые—десятые, а H_2S — десятитысячные доли миллиграмма в одном м^3 , в отдельных случаях их содержание может существенно повышаться (SO_2 — до 10—20 мг/м^3).

Наряду с выбросами соединений серы, в атмосферу поступают, как правило, газообразные углеводороды, окисляющиеся до CO_2 и H_2O . При разложении первичных аминов в атмосфере формируется NH_4^+ , частично окисляющийся в NO_3 . При растворении в воде формируются угольная и азотные кислоты. Процесс разложения углеводородов — окисление с попутным высвобождением присутствующего в молекулах углеводородов азота в восстановленной форме, т.е. NH_4^+ .

На окисление газообразных соединений серы, углеводородов и аммония затрачивается кислород атмосферного воздуха. В целом в формировании кислотности атмосферных осадков принимают участие, помимо серной кислоты, также угольная и др.

Пространственная неоднородность в составе атмосферных осадков вызывается разнообразием распределения в пространстве источников поступления компонентов-загрязнителей. Ветровое и диффузионное перемещение компонентов от мест их поступления в атмосферу способствует снижению степени неоднородности.

Основные процессы в атмосферных осадках со слабокислыми pH и относительно малой минерализацией ограничиваются, главным образом, окислением углеводородов с образованием CO_2 , HCO_3^- . Это определяет формирование углекислой кислотности.

Региональное загрязнение атмосферных осадков хлоридами, за исключением приморских городов, обусловлено количественно мало значимыми источниками — несущественно.

Атмосферным осадкам, находящимся под влиянием локальных техногенных объектов, свойствен состав, близкий составу газообразных отходов объектов, характеризующихся свойствами летучести и повышенной испаряемости.

По данным табл. 3.1 проба атмосферных осадков с минерализацией 199,11 мг/дм³ является одним из примеров локального формирования.

По повышенным и высоким концентрациям Ca^{2+} , K^- , HCO_3^- и низкой концентрации сульфата атмосферные осадки, подобные этой пробе, формируются в условиях обогащения «органикой» при ее интенсивном окислении, сопровождающемся образованием слабой угольной и, в меньшей степени, сильной серной кислот. Возможно, что в атмосферных осадках осуществляется также нейтрализация угольной кислоты аммиаком ($\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{HCO}_3$).

В районе нефтеперерабатывающего завода содержание CO_2 формируется при окислении углеводородных газов ($\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$).

Разложение углеводородов способствует накоплению в осадках NH_4^+ , NH_3 , NO_3^- , соединений серы, органо-минеральных микрокомпонентов, а также хлора, брома, тяжелых металлов минерального и органического генезиса.

В особую группу входят компоненты-загрязнители атмосферных осадков, связанные с промышленными объектами, дающими минеральные отходы (тяжелая промышленность, цветная и черная металлургия и пр.). Эта группа представлена большим числом микрокомпонентов, среди которых существенный процент приходится на тяжелые металлы. В отдельных случаях значительно представлены макрокомпоненты-загрязнители (натрий, карбонат в содовой промышленности и др.).

В целом микрокомпоненты присутствуют в атмосферных осадках в большом числе, но в малых концентрациях. Поступают в атмосферу в газообразной и пылеватой формах. Многие из них токсичны. Наиболее распространенными являются микрокомпоненты, связанные генетически с органическими веществами (В, Cd, Zn и др.), с минералами пылеватых частиц пород (F, As — с флюоритом, арсенопиритом; Al, Fe — с алюмосиликатами), а также поступающие из техногенных источников (Mn, Mo, Pb, Sr, W, Co, B, P, Zn и др.).

Концентрации всех компонентов макрозагрязнителей при увеличении минерализации атмосферных осадков возрастают: $[\text{HCO}_3^-]$ и $[\text{SO}_4^{2-}]$ — существенно; $[\text{Cl}^-]$ — незначительно. Из катионогенных

компонентов заметно возрастают $[Ca^{2+}]$, $[NH_4^+]$; слабо — $[Na^+]$, $[K^+]$, $[Mg^{2+}]$.

От величины рН не зависит распределение Cl^- ; с увеличением щелочности резко возрастает в атмосферных осадках содержание HCO_3^- . Концентрации SO_4^{2-} разные: при кислых (низких) рН они значительные, а при щелочных и нейтральных значениях рН — незначительные.

Сравнение химического состава атмосферных осадков территории г. Москвы, наблюдаемого в настоящее время, с составом, приближающимся к природному, показало, что между ними существует значительная разница. Она касается главным образом переориентировки компонентов, повышения концентрации компонентов, возрастания минерализации, степени кислотности и снижения Eh.

Величины превышения над фоном (табл. 3.3) средних содержаний компонентов характеризуют региональное загрязнение атмосферных осадков; превышения над фоном максимальных содержаний компонентов — локальное в пространстве и во времени загрязнение атмосферных осадков. Это создает пространственно-временную неоднородность в химическом составе атмосферных осадков, которая существенно связана с разнообразием расположения техногенных объектов и розой ветров.

Таблица 3.3

Ориентировочные величины загрязнения атмосферных осадков макрокомпонентами

Показатель	Компоненты, мг/дм ³										рН
	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	HCO_3^-	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	ΣM	
Современный средний	5,0	0,65	1,7	1,1	1,1	0,6	0,42	0,47	0,04	11,04	5,8
Современный с $\Sigma M = 9,42$	3,15	0,35	0,44	2,68	0,67	0,88	0,45	0,54	0,06	9,42	6,5
Околофоновый	1,0	0,3	0,4	1,0	0,4	0,2	0,2	0,4	0,01	4,0	6,8–6,9
Современный максимальный	88,0	7,2	14,96	132,49	14,2	6,1	3,8	29,1	1,32	199	4,2
Величины загрязнения*	1,0	0,35	1,3	0,1	0,7	0,4	0,22	0,07	0,03	7,04	1,6
Величины загрязнения**	87,0	6,9	14,56	131,49	13,8	5,9	3,6	28,7	1,31	195	2,6

* — По соотношению фона с современными средними концентрациями.

** — По соотношению фона с современными максимальными концентрациями.

3.3.2. Преобразование атмосферных осадков в зоне аэрации

В минеральном составе песчано-глинистых пород зоны аэрации территории г. Москвы преобладают SiO_2 ; до 10% и более содержится Al_2O_3 ; до 4–5% — $\text{Fe}_{\text{общ}}$. Из катионогенных макрокомпонентов от 0,5 до 2–3% присутствуют CaO , MgO , Na_2O , K_2O ; до десятых долей процента — P_2O_5 , MnO . В составе глин — гидрослюда, каолинит, монтмориллонит. По данным карбонатного анализа, до 90% в породах зоны аэрации составляют полуторные окислы железа, алюминия и др.; до 0,5–1,5% и более — CaO , MgO ; сотые доли процента — оксиды металлов.

Суммарное содержание водорастворимых соединений (по данным водных вытяжек) достигает сотен мг/дм^3 . Наиболее распространены среди них гидрокарбонатные и сульфатные соединения кальция, натрия; менее широко — хлорид натрия. Повышено (до единиц мг/дм^3) содержание NH_4^+ и NO_3^- ; до сотых—тысячных — NO_2^- .

Породы зоны аэрации карбонатизированы, доломитизированы вторичными процессами минералообразования. В породах зоны аэрации наряду с минеральными соединениями присутствуют органические соединения, особенно широко распространенные в верхней части разреза, где сосредоточен почвенный слой.

Свидетельство этому: а) значительное содержание в породах калия, обладающего органогенностью; б) значительное содержание в составе водорастворимых компонентов гидрокарбоната, кальция, характеризующихся органогенной природой, и азотных соединений (особенно аммония), источником которых является «органика»; в) существенные величины потерь при прокаливании (ППП), достигающие 4–5% и более; г) повышенное содержание P_2O_5 ; д) низкие Eh — менее (+300...+200) мВ.

Определение характера и процессов преобразования атмосферных осадков в зоне аэрации проведено сравнением их состава с составом грунтовых вод в соответствии с условиями площадного распространения тех и других (табл. 3.4).

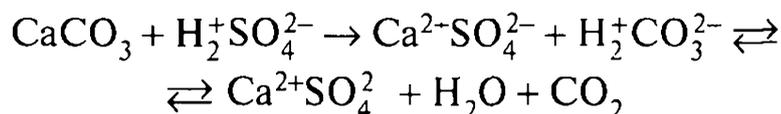
В результате проведенного сравнительного анализа выявлены виды преобразований и даны им объяснения. В зоне аэрации определяющую роль в преобразовании состава загрязненных атмосферных осадков играют породы и окислительно-восстановительные условия.

Значимыми являются отличия атмосферных осадков от грунтовых вод по рН: кислые рН осадков сменяются в грунтовых водах на слабощелочные.

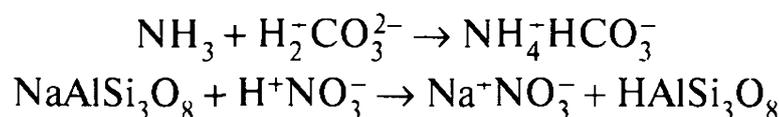
**Сравнение соотношений между макрокомпонентами
 в атмосферных осадках и в грунтовых водах**

Среда распространения	Характер загрязнения	pH	ΣМ, мг/дм ³	Соотношение компонентов
Атмосферные осадки	Региональное	6,9–5,5	≤15	SO ₄ ²⁻ > HCO ₃ ²⁻ следы > Cl ⁻ ; Na ⁺ > Ca ²⁺ > Mg ²⁺
	Локальное	<5,5	>100	SO ₄ ²⁻ >> Cl ⁻ > HCO ₃ ²⁻ следы; Ca ²⁺ > Na ⁺ > Mg ²⁺
		>7,0	>100	HCO ₃ ²⁻ >> SO ₄ ²⁻ > Cl ⁻ ; Ca ²⁺ > Na ⁺ > Mg ²⁺
Грунтовые воды	Региональное водоразделов	≥7,0	<500	HCO ₃ ²⁻ >> SO ₄ ²⁻ > Cl ⁻ ; Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺
	Региональное склонов	≥7,0	500–1000	HCO ₃ ²⁻ >> SO ₄ ²⁻ > Cl ⁻ ; Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺
	Локальное слабоминерализованное	≥7,0	1000–2000	HCO ₃ ²⁻ >> SO ₄ ²⁻ > Cl ⁻ ; SO ₄ ²⁻ > HCO ₃ ²⁻ > Cl ⁻ ; Ca ²⁺ > Na ⁺ > Mg ²⁺
	Локальное минерализованное	≥7,0	>2000	SO ₄ ²⁻ Cl ⁻ (Cl ⁻ SO ₄ ²⁻ ; HCO ₃ ²⁻ SO ₄ ²⁻); меняющиеся катионы

Преобразование кислых атмосферных осадков осуществляется в зоне аэрации нейтрализацией кислот в солевые формы. При сернистой кислотности, наиболее распространенной в атмосферных осадках территории г. Москвы, процесс нейтрализации представлен сернокислотным выщелачиванием карбонатных соединений пород:



Присутствующие в незначительных концентрациях углекислая и азотная кислотность нейтрализуются соответственно:



Нейтрализация кислотности атмосферных осадков в рассматриваемых условиях осуществляется практически до конца, о чем свидетельствуют щелочные pH грунтовых вод.

Смена сульфатного типа атмосферных осадков регионального загрязнения на гидрокарбонатный, также регионального загрязнения грунтовых вод связана с поступлением наряду с атмосферными осадками в грунтовые воды стоков с органическими загрязнениями, влияние которых по сравнению с атмосферными осадками более существенно.

Уменьшение процентного содержания, а также в отдельных случаях абсолютных концентраций азотных соединений (NH_4^+ и NO_3^-) в грунтовых водах по сравнению с атмосферными осадками объясняется в основном адсорбцией NH_4^+ глинистыми разностями пород зоны аэрации и восстановлением NO_3^- до газообразных N_2 и других азотных форм:



Восстановительные условия в зоне аэрации формируются локально при инфильтрации сточных вод, существенно обогащенных $\text{C}_{\text{орг}}$.

На участках зоны аэрации с восстановительными условиями восстановленные формы тяжелых металлов обладают повышенной растворимостью и миграционной способностью, увеличивающейся при образовании минералорганических комплексов. Это способствует выводу металлов с переменной валентностью из пород зоны аэрации в инфильтрующиеся атмосферные осадки (также стоки), усиливая угрозу загрязнения ими подземных вод.

В окислительных условиях зоны аэрации протекают процессы: окисления NH_4^+ в NO_3^- ; $\text{C}_{\text{орг}}$ в CO_2 ; CH_4 в CO_2 и H_2O ; тяжелых металлов в слаборастворимые соединения с последующей их кристаллизацией.

Образующийся углекислый газ интенсифицирует углекислотное выщелачивание пород зоны аэрации, способствуя образованию катионного состава атмосферных осадков (также стоков).

Выводы

1. Процессы преобразования состава атмосферных осадков (также сточных вод) в зоне аэрации с позиций влияния на состав грунтовых вод делятся на категории — позитивную и негативную. К первой относятся процессы:

а) выводящие из атмосферных осадков и сточных вод компоненты-загрязнители: адсорбция NH_4^+ , денитрификация NO_3^- ; окисление металлов, $\text{C}_{\text{орг}}$;

б) изменяющие миграционные формы компонентов-загрязнителей на менее токсичные: окисление NH_4^+ (ПДК 0,5 мг/дм³) в NO_3^- (ПДК 45 мг/дм³);

в) изменяющие щелочно-кислотные условия от кислых до щелочных — процессы нейтрализации кислых атмосферных осадков.

Во вторую категорию входят процессы:

а) сернокислотного выщелачивания, вызывающие образование углекислого газа, способствующего углекислотному выщелачиванию

поряд и повышению концентрации компонентов в загрязненных водных растворах;

б) разложения (посредством окисления и растворения) органических веществ, сопровождающегося накоплением в водных растворах соединений серы, азота, металлов, органо-минеральных макро- и микрокомпонентов;

в) низкие Eh, формирующиеся в условиях обогащения «органикой» и способствующие органо-минеральному комплексообразованию, приводящему к существенному накоплению в инфильтрующихся через зону аэрации растворах многих металлов.

2. Наблюдается однозначность в пространственном распределении регионально и локально загрязненных атмосферных осадков и грунтовых вод, обуславливаемая единством источников загрязнения для обеих сред. Отличия в атмосферных условиях (щелочно-кислотных и др.) от условий зоны аэрации и грунтовых вод определяют разнозначность физико-химических процессов, влияющих на миграционные свойства и концентрацию одноименных загрязнителей.

3. В результате формируется общая для атмосферных осадков и грунтовых вод гидрогеохимическая неоднородность, имеющая признаки закономерности.

3.4. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ

Ныне на территории Москвы можно увидеть только несколько рек, текущих в естественных или укрепленных, но открытых руслах. Это Клязьма, к которой город подобрался своим северо-западным краем совсем недавно; Москва-река с притоками: Сходней, Химкой, Сетунью, Яузой, Городней и Битцей. Относительно крупные притоки полностью или частично спрятаны в трубы: река Нищенка, имеющая расход, равный Сетуни; Котловка с Кожуховкой, Пресня, Филька и др. При взгляде на карту Москвы кажется, что в городе мало водных объектов, в действительности же в его пределах присутствует разветвленная гидрографическая сеть из более чем 700 рек, ручьев, оврагов, болот и озер. К настоящему времени опубликовано около 200 гидронимов Москвы.

Вертикальная планировка, проводимая при застройке, привела к утере большей части естественной гидрографической сети и замене ее искусственной сетью коллекторов и водостоков. По существу, реки в естественных, открытых руслах сохранились на незастроенных или слабоосвоенных территориях: в Государственном природном нацио-

нальном парке Лосиный Остров (р. Ичка, Лось, Лосенок и более 20 безымянных), в Измайловском лесопарке (р. Серебрянка с Терлецкими, Серебряно-Виноградным прудами, р. Стеклянкой, Косинским, Липитинским, Харигозинским и Черным ручьями и 12 безымянными притоками), в Кузьминском парке (р. Пономарка с 15 безымянными притоками), в Битцевском лесопарке (р. Битца, Чертановка, Водянка, Котляковка и более 20 оврагов и ручьев), в долине р. Сетуни (р. Алешинка, Сетунька, Натошенка, Очаковка, Раменка, Рогачевка, Кипятка, Самородинка, Ляхвинский, Жуковский, Кукринский и Онучин овраги и ручьи и еще более 20 безымянных), в долине Сходни (р. Братовка, Муравка, Барышиха, Городенка и еще более десятка безымянных).

Многие реки и ручьи в Москве полностью исчезли с ее лица, но продолжают жить подземной жизнью санитаров города, принимая стоки, талую и поливную воду. Таковы многими забытые Неглинка с Самотекой, Пресня с притоками Бубной и Кабанихой, от которых остались лишь пруды в Зоопарке, Чернушка, превращенная в каскад прудов-отстойников в Покровском-Стрешневе, Рачка с Чистыми (ранее Погаными) прудами в истоках, Ходынка с Таракановкой, Филька, о которой напоминает прудик у станции метро Пионерская, Синичка под Синичкиными улицами в Лефортове, известный по роману А. Толстого ручей Кукуй, скрытый ныне под ул. Энгельса, Ольховка или Елоховка, Черногрязка, Сара, Подон, Нишенка и еще великое множество, о которых знает редкий москвич.

Московские пруды в большинстве своем воспринимаются как самостоятельные озера. Так, Путяевские и Оленьи и Егерский пруды в Сокольниках, пруды на Шмитовском проезде, Черкизовский пруд, пруд в Краснопресненском ПКиО, Головинские пруды, Фермские и Садовые пруды в парке ТСХА и др. действительно выглядят как озера. Но озер в Москве совсем немного. Глубоких озер ледникового происхождения только три и все на самом востоке, в Косине. Это — Белое, Черное и Святое озера. Озера старичного происхождения расположены на бывших поймах Москвы-реки и ее притоков: на Филевском бульваре, на Мневниковской излучине, в ПКиО окружного дома офицеров в Лефортове, в ЦПКиО им. Горького. Есть в Москве и искусственные водоемы—копани — это залитые водой песчаные карьеры в Строгине, Гребной канал, Татаровские карьеры, Круглый пруд в Измайлове.

Москва во многих своих частях разместилась на болотах, о чем говорят такие привычные названия, как Болотная площадь, Балчуг, Карачаровское болото, Сукино болото на территории ЗИЛа, почти

сплошная полоса верховых болот на водоразделе левых притоков Москвы-реки и правых притоков Яузы — район современной улицы Приорова и далее по линии Рижской железной дороги до вокзала. Болотистыми были все Замоскворечье, район Кожухова и Южного порта, Люблино, Лужники, Нагатино, Курьяново и др. Заболоченные леса широко распространены в Измайлове и Лосином Острове.

Каналы в Москве имеют разный возраст. Наиболее старый — Водоотводный, проложенный для предотвращения ежегодного наводнения в Замоскворечье. Несколько каналов-ровесников (1937 г.): Канал имени Москвы, приводящий волжскую воду в Химкинское водохранилище, деривационный канал от него в Сходню, каналы — спрямления излучин Москвы-реки у Серебряного Бора, Мневников (Карамышевский гидроузел), у Южного порта и Перервы. Два коротких канала отводят очищенные сточные воды от Курьяновской станции аэрации в Москву-реку напротив Коломенского.

Режим речного стока Москвы — смешанный. Верховья Москвы-реки и ее притоков зарегулированы Можайским, Рузским, Озернинским и Истринским водохранилищами. Переброска части стока из бассейна верхней Волги осуществляется каналом Вазузской системы с Верхнерузским водохранилищем. Низконапорное водохранилище действует у Рублевской водопроводной станции. Половодья на реке Москве не выражены, лишь в отдельные многоводные годы специалисты Мосводоканала делают весной мощный попуск — промывку русла в городе. Межени — высокие; по-существу, ниже устья Сходни Москва-река, Лихоборка ниже Головинских прудов и Яуза ниже устья Лихоборки превращены в тракт переброски волжской воды. Благодаря этому Москва-река в городе выглядит как полноводная артерия, несмотря на существенный отбор из нее Рублевской и Западной водопроводными станциями.

В пределах города сток Москвы-реки складывается из следующих расходов: ниже Рублева в реке остается только $5 \text{ м}^3/\text{с}$; $35 \text{ м}^3/\text{с}$ сбрасывается в реку из Химкинского водохранилища через деривационный канал; около $10 \text{ м}^3/\text{с}$ дают притоки в черте города; $66 \text{ м}^3/\text{с}$ приходит от городской канализации; и $5 \text{ м}^3/\text{с}$ сбрасывают в реку промышленные предприятия помимо городских канализационных сетей. Модуль стока в среднем для города составляет $9 \text{ дм}^3/\text{с}$ на 1 км^2 и изменяется от $5,6$ до $15 \text{ дм}^3/\text{с}$ на 1 км^2 (в центре).

С поверхностным стоком из Москвы ежегодно уносится: нефтепродуктов — 3840 т, взвешенных веществ — 452 080 т, хлоридов — 173 280 т (по данным 1992 г., а в зиму 1996/97 г. Москва истратила на противогололедные цели 320 тыс. т соли), органических про-

дуктов — 18460 т. Бóльшая часть загрязнений ($\sim 3/4$) формируется в поверхностном стоке в весенний период.

Химический состав московской, яузской, сетуньской и другой речной воды явно неудовлетворительный и не отвечает требованиям рыбохозяйственных водоемов по многим показателям. Содержание кислорода — от 4 до 7 мг/дм³; реакция рН — от 7,4 до 8,1; жесткость — от 4,5 до 5,2 мг-экв/дм³; превышены предельно допустимые концентрации (ПДК) по азотсодержащим ионам, алифатическим и ароматическим углеводородам, пестицидам, тяжелым металлам (Pb, Zn, Ni, Cu, Cd, Cr, Co, Ag). В донных отложениях московских рек тяжелые металлы присутствуют в очень больших концентрациях. Высокие концентрации фиксируются в створах Москвы-реки у Марьины и Капотни, Нагатина, Коломенского, у Строгина и Серебряного бора. Бактериологическое загрязнение отмечено по всем рекам, но бóльшее его количество — в Москве-реке у Люблина, Марьины и Капотни. Крайне высокая степень загрязнения рек Москвы по санитарно-гельминтологическому показателю. В целом подавляющее число водосмов Москвы относится к 5-му и 6-му классам качества, т.е. к грязным и очень грязным водам.

К настоящему времени почти все берега Москвы-реки и Яузы укреплены, оборудованы гранитными набережными и шпунтовыми стенками. Проведены работы по закреплению и дренированию крутых и высоких берегов, пораженных оползнями: в Филевском парке, у Нескучного сада и Воробьевых гор, у Коломенского. Донная эрозия в границах города весьма слаба. Напротив, преобладают процессы аккумуляции, образования мощных толщ донных отложений, содержащих загрязняющие вещества в опасных количествах.

На устьях рек с открытым руслом и на взятых в трубы устроены отстойники прямо в русле Москвы-реки. В эти сравнительно небольшие огороженные акватории регулярно входят специальные суда, чтобы очистить их от скопившейся грязи на дне и собрать плавающий мусор.

Минерализация поверхностных вод, представленных бассейном р. Москвы, колеблется от 100–150 мг/дм³ до 500 мг/дм³; преобладающими компонентами являются гидрокарбонаты, хлориды, натрий, кальций; повышены концентрации сульфатов. С учетом изменений в соотношении компонентов химический состав поверхностных вод, на основе классификации Питевой, характеризуется как $\text{HCO}_3\text{ClпSO}_4\text{CaNa}$; $\text{HCO}_3\text{ClпSO}_4\text{NaCa}$ и др.

Состав поверхностных вод существенно изменяется во времени. Изменения незакономерные, выражены в минерализации, концен-

трации компонентов и в их соотношениях. Примером являются данные по составу воды в р. Москве (несколько южнее границы города) за 1971 и 2004 гг. Анионный состав воды в обоих случаях характеризуется $[\text{HCO}_3^-] > [\text{Cl}^-] > [\text{SO}_4^{2-}]$. При этом распределение катионных компонентов по возрастанию минерализации незначительно; по 1971 г.: концентрации хлоридов и натрия увеличиваются, по 2004 г.: содержание хлоридов уменьшается. Катионный состав по 1971 г.: $[\text{Na}^+] > [\text{Ca}^{2+}] > [\text{Mg}^{2+}]$, по 2004 г.: $[\text{Ca}^{2+}] > [\text{Mg}^{2+}] > [\text{Na}^+]$. Можно предположить, что причиной неоднозначности состава речной воды в р. Москве является ее загрязнение.

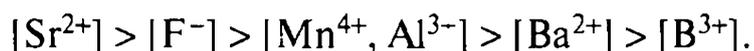
Минерализация воды в р. Москве, вследствие больших ее объемов, часто ниже минерализации воды ее притоков. Обратная картина имеет место в случае существенного загрязнения воды в р. Москве.

В формировании состава поверхностных вод принимают участие атмосферные осадки, подземные воды, породы, газы. Отличие состава поверхностных вод от состава атмосферных осадков и подземных вод заключается в меньшей значимости роли сульфата, кальция и большей — гидрокарбоната, хлорида, натрия. Последнее объясняется загрязненными атмосферными осадками и грунтовыми водами (в межень).

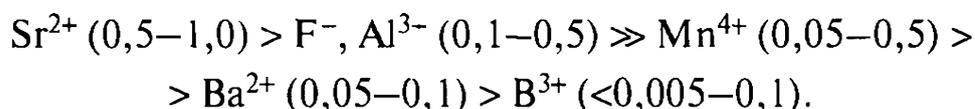
Береговые отложения подвергаются углекислотному выщелачиванию. Из газов значительна роль кислорода, окисляющего органические вещества. Высокие содержания HCO_3^- объясняются присутствием углерода в составе органических веществ наряду с углеродом минеральным.

Донные осадки р. Москвы характеризуются минерализацией 140 мг/дм³ и более. Главные компоненты образуют ряды: $[\text{HCO}_3^-] > [\text{SO}_4^{2-}] > [\text{Cl}^-] > [\text{NO}_3^-]$ и $[\text{Ca}^{2+}] > [\text{Na}^+] > [\text{Mg}^{2+}]$; Cl^- и NO_3^- содержатся в донных осадках в диапазоне 5,0–10,0 экв.%; $[\text{HCO}_3^-]$ и $[\text{SO}_4^{2-}] > 10,0$ экв.%; Соотношения катионов неустойчивы. Высокое содержание общего азота; $[\text{NO}_3^-] \gg [\text{NH}_4^+]$ (табл. 3.5).

Представленные микрокомпоненты (см. табл. 3.5, 3.6) образуют в поверхностных водах по убыванию концентраций ряд



Это соотношение подтверждается данными по частоте встречаемости рассматриваемых микрокомпонентов (мг/дм³):



**Содержание микрокомпонентов в речных водах
по результатам анализа отдельных проб**

Место отбора пробы		Содержание компонентов, мг/дм ³								
		Sr ²⁺	F ⁻	Mn ⁴⁺	Al ³⁺	Ba ²⁺	B ³⁺	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
р. Яуза	№ 1	0,85	0,34	0,35	0,26	0,06	0,004	0,7	0,1	6
	№ 2	0,61	0,37	0,48	0,33	0,08	0,084	н.о.	н.о.	5
р. Москва, выше от впадения р. Яузы	№ 1	0,5	0,26	0,08	0,18	0,07	0,004	0,2	0,05	8
	№ 2	0,5	0,19	0,09	0,11	0,05	0,027	сл.	0,07	7
р. Москва, ниже от впадения р. Яузы	№ 1	0,5	0,23	0,1	0,14	0,05	0,004	0,2	0,06	7
	№ 2	0,5	0,39	0,12	0,12	0,05	0,078	1,2	0,1	11
ПДК		2,0	1,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,5	0,1	45

н.о. — не обнаружены; сл. — следы.

Таблица 3.6

**Распределение микрокомпонентов в шести речных пробах
относительно содержания**

Компонент	Диапазон содержания, мг/дм ³					
	<0,005	0,005–0,01	0,01–0,05	0,05–0,1	0,1–0,5	0,5–1,0
Sr						6 проб
F					6 проб	
Mn				2 пробы	4 пробы	
Al					6 проб	
Ba				6 проб		
B	3 пробы		1 проба	2 пробы		

Характеристические особенности состава донных осадков свидетельствуют о значительной роли «органики» в его формировании (см. табл. 3.6).

В целом микрокомпоненты, включая азотные соединения, в воде р. Яузы содержатся в бóльших концентрациях, чем в воде р. Москвы.

Sr²⁺ и F⁻ выдержаны в максимальных, Ba²⁺ и B³⁺ — в минимальных концентрациях. [Mn⁴⁺] и [Al³⁺] изменены относительно друг друга: в воде р. Яузы [Mn⁴⁺] > [Al³⁺]; в воде р. Москвы [Al³⁺] > [Mn⁴⁺] (см. табл. 3.5).

Главенствующее положение Sr²⁺ среди рассматриваемых микрокомпонентов объясняется его независимым формированием (от окислительно-восстановительных условий) и устойчивым геохимическим фоном, представленным Sr(HCO₃)₂. Повышенные концентрации F⁻ связаны, по-видимому, с биогенной активностью фтора. Минимальные концентрации Ba²⁺, B³⁺ можно объяснить: Ba²⁺ — кристаллизацией вследствие слаборастворимых его форм, а B³⁺ — изо-

морфным (по CO_3^{2-}) осаждением из воды. Меньшие концентрации Mn^{4+} в воде р. Москвы по сравнению с р. Яузой являются результатом осаждения трудно растворимых окисленных форм, а большие концентрации в воде р. Яузы — устойчивостью в водных растворах восстановленных форм последнего.

Распределение азотных соединений и микрокомпонентов в поверхностных водах приводится на примере водной системы рек Москва и Яуза как основной речной артерии и ее притока.

Среди азотных соединений речных вод существенно преобладает NO_3^- , составляющий единицы мг/дм³; NH_4^+ присутствует в десятых, а NO_2^- — преимущественно в сотых долях мг/дм³ (см. табл. 3.5).

В воде р. Москвы концентрация NO_3^- , выше, а концентрация NH_4^+ ниже, чем в воде р. Яузы. Это объясняется интенсивностью окисления аммония в воде р. Москвы вследствие ее большой насыщенности кислородом по сравнению с р. Яузой. В целом концентрация азотных соединений в воде р. Яузы больше, чем в воде р. Москвы, что, скорее всего, связано с техногенной нагрузкой. Влияние р. Яузы на содержание азотных соединений в воде р. Москвы подтверждается некоторым увеличением концентраций азотных соединений в пробах воды, отобранных в р. Москве ниже впадения в нее р. Яузы.

3.5. ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ

3.5.1. О грунтовых водах как об одном из значимых источников загрязнения подземных вод карбона

Грунтовые воды на территории города приурочены к различным по генезису и литологическим характеристикам отложениям и уже нигде не используются в качестве источника водоснабжения. Поэтому их гидрогеоэкологическое значение состоит в том, что они являются компонентом сложившихся городских экосистем, занимающим, как правило, наинизшее энергетическое положение. Это означает, что именно в грунтовые воды в итоге попадают загрязняющие вещества из почв, атмосферы, из поверхностных вод в половодья и паводки и от инженерных сооружений. В то же время именно от особенностей режимной и балансовой структур, состава и качества этих вод напрямую зависят питание рек в межень, условия вегетации растительности и активной жизнедеятельности человека [17].

Глубины залегания грунтовых вод в городе варьируют в широких пределах. Наибольшие глубины — до 15–18 м свойственны Теплостанской возвышенности, наименьшие глубины залегания уровня отмечены в долинах Москвы-реки и ее притоков (до нескольких

метров). В самом общем случае можно считать, что чем глубже залегают свободная поверхность грунтовых вод, тем они более защищены от поверхностного загрязнения. Но на практике все оказывается сложнее и более неоднозначно. Зона аэрации на большей части городской территории сложена техногенными грунтами или так называемым культурным слоем. Эти отложения проводят поток инфильтрационного питания сверху вниз, к зеркалу грунтовых вод, активно и негативно участвуя в формировании состава последних.

На режим и балансовые характеристики потоков грунтовых вод влияет состояние поверхности земли (растительность, вертикальная планировка, асфальтировка и пр.), а также уклоны поверхности и общая расчлененность рельефа. Как правило, густая эрозионная и гидрографическая сеть способствует снижению, сдренированности уровня грунтовых вод. Плановые размеры потоков грунтовых вод небольшие и определяются расстояниями от центров водораздельных плато до ближайшей дрены. И здесь следует вспомнить, что в городе иногда непросто увидеть эту дрину, поскольку практически вся гидрографическая сеть взята в трубы или засыпана. Однако подрусловой поток под трубами продолжает исполнять роль дрены.

Имеется и еще один негативный фактор, способствующий усилению процессов загрязнения грунтовых вод. Это — формирование верховодки. Обычно в естественных условиях верховодка формируется как сезонное и локальное скопление подземных вод в зоне аэрации. Но в условиях города может образовываться так называемая техногенная верховодка, питающаяся постоянно, почти круглогодично утечками из подземных водонесущих коммуникаций, но сохраняющая признак локальности за счет принадлежности к зоне под канализационной трубой. При этом большая мощность зоны аэрации не спасает грунтовые воды от загрязнения.

В связи с понижением напоров в артезианских горизонтах карбона происходит повышение уровней грунтовых вод, ведущее к подтоплению значительных территорий города. Основной причиной подтопления являются массовые утечки из подземных водонесущих коммуникаций (ПВК): хозяйственно-бытовой, дождевой и промышленной канализации, водопровода и теплосетей. Средняя для Москвы в пределах МКАД величина утечек из ПВК близка к $4 \text{ дм}^3/\text{с}/\text{км}^2$. Эта величина больше модуля естественного питания подземных вод в 2 раза. Таким образом, в действительности на поверхность грунтовых вод города поступает тройное питание. Реакция потоков грунтовых вод — подъем уровней, т.е. подтопление, захватившее более половины территории города.

Подтоплению подвержены самые различные районы Москвы. Это и подсыпанные поймы, например Замоскворечье в районе Дербеневской и Кожевнической улиц, где идет интенсивное подтопление кислыми проточными местными фабриками и заводами. Здесь полезно знать о том, что фундаменты старых московских жилых и промышленных зданий сооружались из «белого камня» — мячковского известняка. Известковая кладка под действием кислых растворов постепенно разрушается, и сохранность зданий становится весьма проблематичной. Главное здание МГУ на Воробьевых Горах также подтапливалось в период с 1953 по 2000 г., с чем была связана его непрерывающаяся осадка. Успешные меры по прекращению утечек из ПВК привели к ожидаемой стабилизации здания. На тройную норму инфильтрационного питания грунтовые воды отвечают подъемом уровня, и это приводит к затоплению подвалов, снижению несущих свойств грунтов в основании зданий, заболачиванию почв, выгниванию растительности, увлажнению приземного слоя воздуха и к другим негативным последствиям. Кроме того, рост уровней грунтовых вод на фоне снижения напоров артезианских вод усиливает предпосылку нисходящего перетекания, что, в свою очередь, ведет к загрязнению артезианского бассейна.

Наиболее неблагоприятными районами Москвы в этом отношении являются восточные ее части (Мещерская низменность), где высокие уровни грунтовых вод — норма, а также приречные области с малыми градиентами потоков грунтовых вод, водораздельные пространства, сложенные моренными суглинками малой проницаемости: Куркино, Новоподрезково, Митино, Шукино, Тушино, Коптево, Бутырская, Масловка, Лианозово, Ростокино, Отрадное, Новослободская, Крылатское, Кунцево, Фили-Мазилово, Кутузовский проспект, Матвеевское, Раменки, Воробьевы Горы, Зюзино, Волхонка-ЗИЛ, Чертапово, Солнцево, Бутово, Ново-Косино, Жулебино и др. В этом пространном списке откровенно удивляет наличие совсем новых районов массовой застройки. Подтопление жилых массивов проявляется на второй—четвертый год после ввода зданий в строй, что свидетельствует об изъянах в проектировании (инженерного обеспечения) строительства и об игнорировании при этом существующего опыта эксплуатации инженерных сетей в Москве.

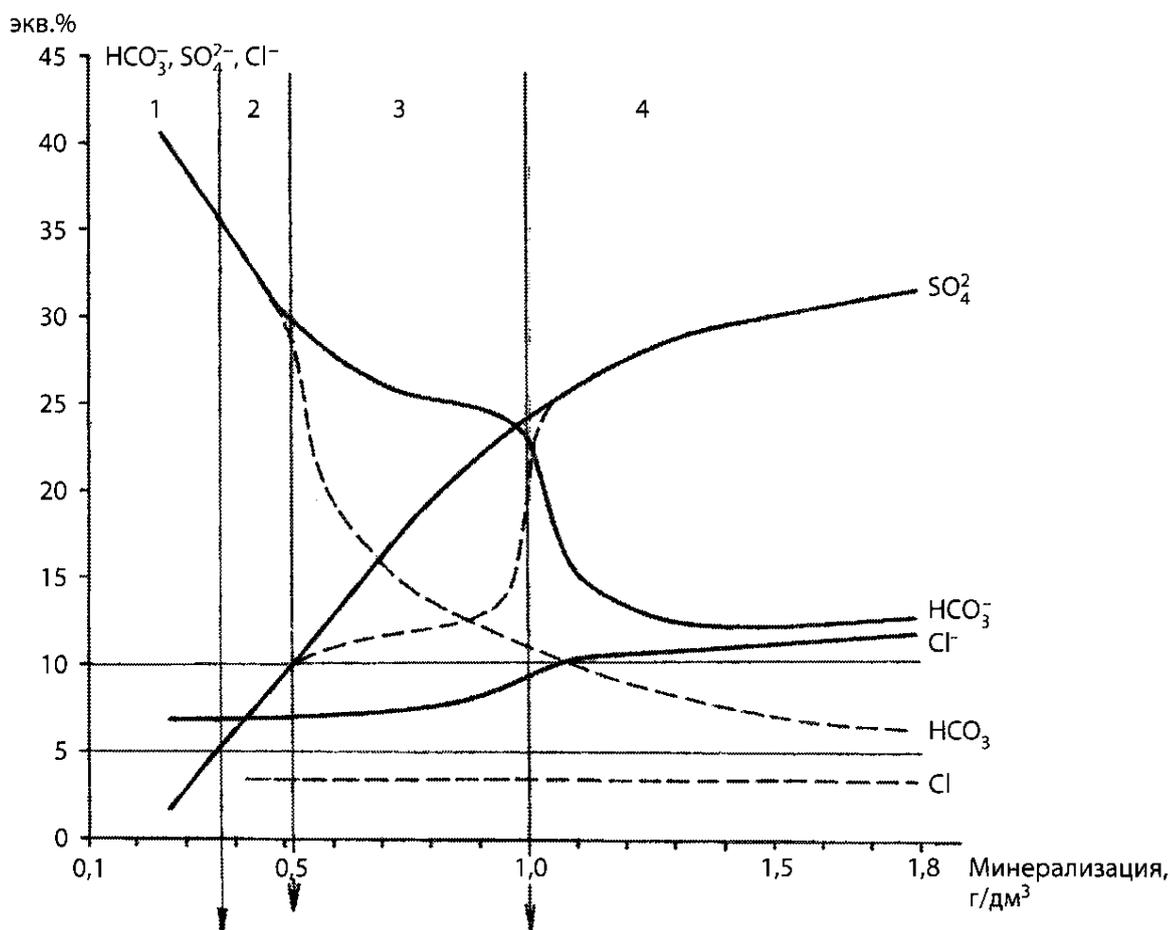
Понятно, что подтопление сточными водами неразрывно связано и с другим негативным и почти повсеместным для Москвы процессом — *загрязнением подземных вод*.

3.5.2. Гидрогеохимические условия грунтового водоносного горизонта

В характеристику гидрогеохимических условий грунтового водоносного горизонта преимущественно положены данные химических анализов вод конца прошлого столетия.

В результате гидрохимического классифицирования грунтовые воды разделены на группы:

- 1 — с минерализацией до 0,4 г/дм³ преимущественно HCO₃CaMgNa состава;
- 2 — 0,4–0,5 г/дм³ HCO₃пSO₄пClCaMgNa состава;
- 3 — 0,5–1,0 г/дм³ HCO₃SO₄пClCaNaMg состава;
- 4 — 1,0–2,0 г/дм³ SO₄HCO₃Cl (HCO₃SO₄пCl) CaNaпMg состава;
- 5 — >2; 2,0–5,0 HCO₃ClNa; 5,0–8,0 ClHCO₃Na; >8,0 ClNa составов (рис. 3.1).



№ по графику	1	2	3	4
Диапазон минерализации, г/дм ³	<0,3	0,3–0,5	0,5–1,0	>1,0
Название воды	HCO ₃ CaMgNa	HCO ₃ O ₄ (пCl)CaMgNa	HCO ₃ SO ₂ пClCaMgNa	SO ₄ HCO ₃ ClCaNaпMg

Рис. 3.1. Классификационная диаграмма состава грунтовых вод (А — для естественных условий (— — —); Б — для условий загрязнений (—))

Величины минерализации грунтовых вод пятой группы в отдельных пунктах достигают десятков (~ 50) г/дм³.

Компонентный состав указанных групп охарактеризован для диапазонов минерализации, установленных при классифицировании (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Схематическая гидрогеохимическая карта грунтового водоносного горизонта территории г. Москвы

Распределение компонентов в грунтовых водах территории г. Москвы подчиняется следующим закономерностям (см. рис. 3.1, 3.2):

- с повышением минерализации вод в них возрастает концентрация сульфатов, хлоридов и уменьшается концентрация гидрокарбонатов; коэффициент корреляции при этом повышен со всеми тремя анионами (табл. 3.7);
- по мере повышения минерализации в водах возрастает содержание натрия и уменьшается — кальция, магния;
- при минерализации, превышающей 2,0 г/дм³, состав вод — хлоридно-гидрокарбонатный (гидрокарбонатно-хлоридный) натриевый;
- при достижении минерализации 40–50 г/дм³ — хлоридный натриевый.

Таблица 3.7

Коэффициенты корреляции (R) и дисперсия (S) анионов с минерализацией в грунтовых водах г. Москвы

Ион	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-
R	0,68	0,56	0,48
S	$3,4 \cdot 10^{-5}$	0,70	4,79

На эти общие изменения компонентного состава вод накладываются точечные изменения, заключающиеся в резком и неравномерном повышении в водах концентрации отдельных компонентов (особенно анионогенных), что приводит к несоответствию их состава осредненному составу, полученному при гидрогеохимическом классифицировании (табл. 3.8).

Формируется «точечная» неоднородность.

Грунтовые воды на территории г. Москвы следует считать загрязненными, свидетельством чего является их питание загрязненными атмосферными осадками, речными, озерными и сточными водами

Точечная неоднородность в составе грунтовых вод

Минерализация, г/дм ³	До 0,5	0,5–1,0	>1,0		
			1,0–2,0	2,0–5,0	>5,0
Компонентный состав	HCO ₃ ⁻ и HCO ₃ ⁻ пSO ₄ ²⁻ пCl СапMгпNa	HCO ₃ ⁻ SO ₄ ²⁻ пCl СапMгпNa	SO ₄ ²⁻ HCO ₃ ⁻ пCl	Cl HCO ₃ ⁻ Na	Cl Na
	HCO ₃ ⁻ пSO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻ пSO ₄ ²⁻	CaNaпMg		
	HCO ₃ ⁻ пSO ₄ ²⁻	ClHCO ₃ ⁻ пSO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ HCO ₃ ⁻ пCl		
	HCO ₃ ⁻ SO ₄ ²⁻ пCl	HCO ₃ ⁻ пSO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ пCl HCO ₃ ⁻		
	HCO ₃ ⁻ SO ₄ ²⁻ пCl	пSO ₄ ²⁻ HCO ₃ ⁻	пSO ₄ ²⁻ HCO ₃ ⁻		
		SO ₄ ²⁻ пHCO ₃ ⁻			

многочисленных и разнообразных по составу промышленных объектов и объектов жизнедеятельности человека.

Региональному загрязнению грунтовых вод способствует их питание атмосферными осадками, взаимодействующими в зоне аэрации с загрязненными породами.

Однако довольно широко распространены грунтовые воды с минерализацией до 0,4 г/дм³ HCO₃⁻CaMгNa состава и от 0,1 до 0,5 г/дм³, в которых повышено содержание SO₄²⁻ и Cl⁻. Воды первых двух групп, характеризующиеся в целом минерализацией до 0,5 г/дм³, условно нами отнесены к водам околоприродного фона с незначительным загрязнением (табл. 3.9).

Таблица 3.9

Концентрации компонентов в грунтовых водах, близкие к естественному (А) и техногенному (Б) формированию

Тип вод	Минерализация, г/дм ³	Концентрация компонентов, мг/дм ³					
		HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
А	<0,5	<250	7–50	10–15	50–80	2–20	<10
Б	0,5–1,0	160–300	100–250	≤35	50–180	10–60	7–20
	≥1,0	250–450	300–450	>35	150–250	30–100	10–30

Значительные величины дисперсии, особенно для SO₄²⁻ и Cl⁻, являются признаком двоякого (естественного и техногенного) источника поступления этих компонентов в воды. Приближающиеся к следовым величины дисперсии HCO₃⁻, возможно, обусловлены сложностями карбонатного равновесия. Высокие значения коэффициентов корреляции HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻ с минерализацией указывают

на возрастание многовидового загрязнения вод в направлении фильтрационного потока.

Грунтовые воды следующих трех групп существенно (в разной степени) загрязнены.

Компоненты-загрязнители всех грунтовых вод, включая воды околоприродного фона, подобны компонентам-загрязнителям питающих их атмосферных осадков, сточных вод, поверхностных вод и представлены SO_4^{2-} , Cl^- , $\text{C}_{\text{орг}}$ (в форме HCO_3^-), Na^+ , Ca^{2+} , тяжелыми металлами, УВ (метаном, ароматическими и некоторыми другими).

Пресные грунтовые воды по условиям загрязнения систематизируются на две категории: а) воды регионального и б) локального загрязнения. Среди вод регионального загрязнения выделяются группы вод слабого загрязнения (околоприродного фона) и загрязненные. Первые имеют минерализацию до $0,5 \text{ г/дм}^3$; вторые — $0,5\text{--}1,0 \text{ г/дм}^3$.

Грунтовые воды околоприродного фона существенно отличаются по химическому составу от загрязненных атмосферных осадков повышенной (на первые сотни мг/дм^3) минерализацией, преобладанием гидрокарбонатов над сульфатами, пониженным процентом содержания азотных соединений, щелочными свойствами, сменившимися кислотными свойствами атмосферных осадков, и более восстановительными условиями. Многие из перечисленного объясняется широким развитием в зоне аэрации процессов привноса в атмосферные осадки дополнительных концентраций ряда компонентов из пород и процессами, протекающими в пределах грунтового водоносного комплекса. Главный процесс — углекислотное выщелачивание песчано-глинистых разностей пород и карбонатных вторичных минералов, интенсифицируемый углекислым газом, образующимся при окислении «органики». Довольно широко распространен процесс окисления кислородом и органическими кислотами сульфидов металлов. Формирующаяся при этом серная кислота вызывает процесс сернокислотного выщелачивания терригенных разностей пород и карбонатных минералов вторичного образования (табл. 3.10).

Незначительное содержание хлоридов в грунтовых водах околоприродного фона объясняется практическим отсутствием в породах растворимых хлорсодержащих соединений.

Величины загрязнения грунтовых вод околоприродного фона определялись условно по разности между максимальными и минимальными концентрациями компонентов-загрязнителей.

Для определения величин загрязнения грунтовых вод, формирующихся под влиянием более интенсивного техногенного воздействия, за природный гидрогеохимический фон условно приняты

**Соотношение содержания компонентов
в грунтовых водах и атмосферных осадках**

Среда распространения		рН	ΣМ, мг/дм ³	мг/дм ³					
				HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺
Грунтовые воды	Близкие к природным	>7,0	<500	<200	<7	<10	<80	<20	<20
	Загрязненные	>7,0	500–1000	>250	>450	>35	>250	>100	>30
Атмосферные осадки	Близкие к природным	6,7–7,0	6,1	0,5	3,0	0,5	0,2	0,1	0,9
	Загрязненные региональные	5,7	≥15	0,5	5	0,5	0,2	0,01	1
	Локальные	<5	157	0,0	88	7	22	0,77	10
		>7,0	199	132	20	0,8	29	1,3	4,1

максимальные концентрации компонентов-загрязнителей в водах околоприродного фона.

По данным гистограммы верхнее околофоновое содержание хлоридов в рассматриваемых грунтовых водах составляет 0,4 мг-экв; аномальное — от 0,4 до 1,0 мг-экв/дм³, что определяет загрязнение хлоридами от 14 до 35 мг/дм³. Эти данные достоверны, поскольку величина 0,4 мг-экв/ дм³ близка к концентрациям хлоридов в природных водах лесопарковой зоны Подмосковья, где они на уровне 0,2–0,3 мг-экв/дм³. На классификационной диаграмме эта величина соответствует 2–3 экв.% содержанию хлоридов в грунтовых водах всех групп, включая воды с минерализацией болсе 1,0 г/дм³, что свидетельствует об устойчивом состоянии фонового содержания хлоридов в грунтовых водах в целом. Величина загрязнения хлоридами грунтовых вод околоприродного фона, вычисленная по разности между максимальной его концентрацией в данных водах (1 мг-экв/дм³) и верхним пределом фона (0,4 мг-экв/дм³), составляет 0,6 мг-экв/дм³ (или 21 мг/дм³).

По данным гистограмм фоновое содержание сульфатов в околоприродных грунтовых водах 1 мг-экв/дм³; максимальное аномальное — около 3 мг-экв/дм³. Величина загрязнения сульфатом оставляет около 2 мг-экв/дм³, или около 100 мг/дм³.

На рассматриваемой территории грунтовые воды обогащены органическими соединениями, что в химических анализах вод рассматриваемой группы выражено концентрациями гидрокарбоната, включающими, помимо органического углерода, небольшие концентрации углерода минерального. Углерод как элемент един во всех

соединениях, но свойства гидрокарбоната зависят от первоисточника: высокая геохимическая активность, в частности возрастание содержания HCO_3^- , с увеличением его минерализации обусловлена происхождением от органических веществ; в случае минерального происхождения содержание HCO_3^- , вследствие слабой растворимости его соединений, уменьшается.

Содержание в околоприродных грунтовых водах органических веществ определено схематично по концентрации HCO_3^- , которая составляет до 30 экв.% от 100% общей минерализации, т.е. $\approx 500 \text{ мг/дм}^3$. Из расчета пропорции $[\text{HCO}_3^-] = 500 \cdot 30 : 100 \text{ (мг/дм}^3)$ следует, что органических веществ в рассматриваемых грунтовых водах содержится около 150 мг/дм^3 .

Таким образом, околофоновые концентрации макроанионов-загрязнителей и натрия в грунтовых водах территории Москвы, мг-экв/дм³: HCO_3^- — 3,0; SO_4^{2-} — 1,0; Cl^- — 0,4; Na^+ — 0,4.

Фоновая концентрация гидрокарбонатов в околоприродных грунтовых водах выше, чем сульфатов и хлоридов, что определяется их источниками: первое место гидрокарбонатов — наличием в водах значительных концентраций углекислого газа, интенсифицирующего углекислотное выщелачивание пород; второе место сульфатов — наличием в породах сульфидных металлов, которые при окислении способствуют формированию серной кислоты, обеспечивающей сернокислотное выщелачивание пород; третье место хлоридов — практическим отсутствием хорошо растворимых минералов в породах.

Грунтовые воды с минерализацией менее $0,5 \text{ г/дм}^3$ имеют на территории г. Москвы широкое распространение: приурочены к обширным водораздельным площадям на юго-западе, востоке, северо-востоке в центральной части города; а на западе, северо-западе воды этой группы тяготеют к нижним частям водоразделов и непосредственно примыкают к долинам рек (см. рис. 3.2).

Грунтовые воды регионального загрязнения

К грунтовым водам регионального загрязнения относятся воды с минерализацией $0,5\text{—}1,0 \text{ г/дм}^3$ $\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{ClCaMgNa}$ состава, характеризующиеся широким распространением (см. рис. 3.2) в пределах склонов водоразделов, питающиеся преимущественно загрязненными атмосферными осадками и поступающими с водораздельных пространств загрязненными грунтовыми водами околоприродного фона.

Всюду они оконтуривают участки распространения грунтовых вод с минерализацией до $0,5 \text{ г/дм}^3$, образуя, как правило, узкие полосы

на севере и в центральной части города, значительно расширяясь на юго- и северо-востоке, западе и юго-западе города (см. рис. 3.2).

Величина загрязнения компонентами-загрязнителями (HCO_3^- , $(\text{C}_{\text{орг}}) \text{SO}_4^{2-}$, Cl^-) по отношению к принятым околоприродным фоновым концентрациям, мг-экв/дм³: HCO_3^- — 3; SO_4^{2-} — 1,0; Cl^- — 0,4) — составляют соответственно, мг-экв/дм³ (мг/дм³): 4,5–5,0 (270–300); 5,0–7,0 (250–27); 0,8–5,3 (28–175) (рис. 3.3, 3.4).



Рис. 3.3. Схематическая карта загрязнения грунтовых вод г. Москвы



Рис. 3.4. Схематическая карта распространения грунтовых вод с органическими загрязнениями и различными условиями карбонатного и сульфатного равновесий

Компоненты-загрязнители содержатся в загрязненных водах данной группы, экв. %: HCO_3^- — 23–28; SO_4^{2-} — 10–20 (в отдельных случаях до 30); Cl^- — 5–10.

Загрязнение рассматриваемых грунтовых вод формируется, помимо смешения с загрязненными атмосферными осадками и грунтовыми водами околоприродного фона, также поступлением в воды компонентов, образующихся в ходе углекислотного выщелачивания пород в зоне аэрации непосредственно на участках грунтового горизонта, к которым относятся рассматриваемые (т.е. с ΣM 0,5–1,0 г/дм³) воды. Эти грунтовые воды распространены на участках транзита, соответствующих периферийным частям водоразделов.

Грунтовые воды локального загрязнения

Эти грунтовые воды имеют минерализацию более 1,0 г/дм³ и по данным гидрогеохимического классифицирования представлены двумя группами: а) с минерализацией от 1,0 до 2,0 г/дм³ и б) более 2,0 г/дм³ (см. рис. 3.2).

Особенность грунтовых вод с минерализацией более 1,0 г/дм³: их соответствие отдельным техногенным объектам (см. рис. 3.2); значительная степень загрязнения; усложнение процессов формирования состава; источники загрязнения представлены сточными водами.

Грунтовые воды с минерализацией до 2 г/дм³ соответствуют $\text{SO}_4\text{HCO}_3\text{ClCaNaMg}$ составу.

Сульфаты составляют в водах 20–30 экв. %. Величина загрязнения достигает 10–12 мг-экв/дм³ (≈ 400 –450 мг/дм³).

HCO_3^- содержится в водах около 270–300 мг/дм³. Величина загрязнения вод около 350 мг/дм³.

Содержание хлоридов в водах локального загрязнения может достигать 7, редко — 9–12 мг-экв/дм³ (до 200–300 мг/дм³).

Грунтовые воды с минерализацией более 2 г/дм³ характеризуются низким содержанием сульфатов (<200 мг/дм³) вследствие кристаллизации сульфата кальция. Главными анионогенными компонентами в этих водах являются гидрокарбонаты и хлориды. При минерализации до 5 г/дм³ концентрация гидрокарбонатов достигает десятков мг-экв/дм³ (>500 мг/дм³), а хлоридов >10 мг-экв/дм³ (более 250–300 мг/дм³).

Высокие концентрации «органики» в водах являются результатом образования в условиях загрязнения хорошо растворимых комплексов органоминеральных соединений; хлоридов — результатом загрязнения хорошо растворимыми мелкокристаллическими хлоридами натрия.

При достижении грунтовыми водами минерализации от 5 и более 40–50 г/дм³ в них сохраняются низкие концентрации сульфатов (<5 экв.%), а гидрокарбонатно-хлоридный натриевый состав сменяется в водах с минерализацией 8–10 г/дм³ и выше сначала на хлоридно-гидрокарбонатный натриевый и затем хлоридный натриевый. Резкое снижение HCO_3^- в этих водах, по-видимому, определяется резким убыванием свободного и связанного кислорода, необходимого для протекания процессов разложения органических веществ в смесях «грунтовая вода — стоки».

3.5.3. К формированию состава грунтовых вод

Состояние карбонатного и сульфатного равновесий грунтовых вод во многом свидетельствует о разнообразии процессов, происходящих при их загрязнении, и подтверждает изменения в химическом составе грунтовых вод регионального и локального загрязнения.

Грунтовые воды регионального загрязнения при минерализации от < 0,5 г/дм³ до 1,0 г/дм³ преимущественно недонасыщены по карбонатным соединениям и гипсу. При минерализации 0,5–1,0 г/дм³ появляются признаки карбонатного насыщения и уменьшается недонасыщенность по гипсу (табл. 3.11).

Грунтовые воды локального загрязнения при минерализации от 1,0 до 2,0 г/дм³ перенасыщены по кальциту, но в незначительной степени остаются недонасыщенными по гипсу. Перенасыщение по кальциту в грунтовых водах при возрастании минерализации со-

Индексы насыщения по карбонату и гипсу P_{CO_2} в грунтовых водах

Минерализация, г/дм ³	Тип	Класс	P_{CO_2} , Па	SI_C	SI_G	Процессы	Гидрогеологические условия
<0,5				<0	-2,0	Углекислотное выщелачивание	Область инфильтрационного питания и транзита
0,5–1,0	HCO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ²⁻ > Cl ⁻	<1000	-0	-1,0...-0,7	Переход углекислотного выщелачивания к кристаллизации карбонатных минералов	Транзита
1,0–2,0	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ > HCO ₃ ⁻ > Cl ⁻		>0	-0,7...-0,4	Кристаллизация карбонатных минералов	Транзита и разгрузки
2,0–5,0	HCO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻ > Cl ⁻ > SO ₄ ²⁻	>1000		-0,4...0,0	Начальная кристаллизация гипса	
5,0–8,0	Cl ⁻	Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ²⁻		>0	≈0,0	Усиление кристаллизации гипса	
>8,0	Cl ⁻	Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ²⁻			>0	Кристаллизация гипса	

храняется, а, начиная с минерализации около 2–5 г/дм³, воды насыщаются по гипсу.

В соответствии с неустойчивостью карбонатного и сульфатного равновесий изменяются связанные с ними процессы и, как следствие, химический состав грунтовых вод.

В грунтовых водах околоприродного фона (минерализация < 0,5 г/дм³) преобладают процессы углекислотного выщелачивания, сменяющиеся при минерализации 0,5–1,0 г/дм³ процессами карбонатизации. Воды имеют карбонатный тип.

Развивающийся в водах при минерализации 1,0–2,0 г/дм³ процесс кристаллизации карбонатных минералов способствует переходу карбонатного типа в сульфатный (см. табл. 3.11).

При минерализации ~2,0–5,0 г/дм³ тип грунтовых вод становится вновь карбонатным, что обуславливается началом кристаллизации из вод гипса, которая продолжается в условиях возрастающей минерализации вод. Карбонатный тип этих грунтовых вод обеспечивается хорошо растворимым карбонатом натрия.

При большей минерализации формируется хлоридный тип вод, в которых повышены карбонаты, а сульфаты содержатся в незначи-

ельных концентрациях (0,2–0,8 мг-экв/дм³). Повышенные концентрации карбонатов олицетворяют собой органические соединения, присутствующие в этих водах в хорошо растворимых минералорганических комплексах. Это подтверждается высокими значениями ($\cdot 1000$ Па) P_{CO_2} (см. табл. 3.11).

При повышении минерализации грунтовых вод компоненты меняются местами. В водах околоприродного фона, а также водах регионального загрязнения (ΣM 0,5–1,0 г/дм³) $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$, но концентрация SO_4^{2-} и Cl^- увеличивается вследствие загрязнения, концентрация HCO_3^- уменьшается в результате кристаллизации $CaMgCO_3$. В водах с минерализацией 1,0–2,0 г/дм³ концентрация SO_4^{2-} достигает максимума (состав вод становится SO_4HCO_3Cl) и при $> 2,0$ г/дм³ вследствие кристаллизации гипса начинают снижаться и SO_4^{2-} , и Ca^{2+} — состав воды становится HCO_3ClNa .

Дальнейшие изменения в составе грунтовых вод связаны с их загрязнением хлоридом натрия и ослаблением процессов окисления органических составляющих вследствие снижения содержания кислорода.

Загрязнение грунтовых вод в максимальных концентрациях приурочено к локальным участкам, которые можно считать *аномалиями загрязнения* в отличие от регионального загрязнения.

Загрязнение грунтовых вод сульфатами на участках гидрогеохимических аномалий характеризуется преимущественно значениями 20–30 мг-экв/дм³ (или 960 и 1440 мг/дм³).

Загрязнение вод хлоридами на участках гидрогеохимических аномалий в среднем характеризуется значениями от 7 до 30 мг-экв/дм³ (или от 245 до 1050 мг/дм³).

Максимальное содержание хлоридов в грунтовых водах аномалий с минерализацией около 60 г/дм³ достигает 50 мг-экв/дм³ (или 1750 мг/дм³) и более.

Солевые формы грунтовых вод аномалий загрязнения по анионогенным компонентам представлены карбонатными, сульфатными и хлоридными соединениями; по катионогенным — соединениями кальция и натрия (табл. 3.12).

В грунтовых водах аномалий с минерализацией 1,0–2,0 г/дм³ (классификационная группа SO_4HCO_3Cl , точно присутствуют воды $HCO_3SO_4ClCaNaMg$ состава) $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$ и $Ca^{2+} > Na^+$ (см. табл. 3.12, 3.13).

В пределах классификационной группы грунтовых водах с минерализацией более 2,0 г/дм³, для которой в целом характерно $HCO_3^- >$

Солевой состав грунтовых вод гидрогеохимических аномалий загрязнения

Минерализация, г/дм ³	Формула компонентного состава	Солевой состав, моль/дм ³ · 10 ³			
1,2	HCO ₃ SO ₄ CaNaMg	Скважина	6858	3689	
1,8	HCO ₃ SO ₄ NaCa	CaCO ₃ (3% Mg)	3,042	3,656	
		CaMg(CO ₃) ₂	2,077	0,587	
		Na ₂ CO ₃	1,106	8,136	
		Na ₂ SO ₄	1,940	2,310	
		NaCl	0,801	1,756	
		Св. карбонат	4,832	4,907	
1,5	HCO ₃ SO ₄ ClCaMgNa	Скважина	6502	1100	
1,8	HCO ₃ SO ₄ ClCaNaMg	CaCO ₃ (3% Mg)	2,522	2,156	
		CaMg(CO ₃) ₂	3,308	4,590	
		CaSO ₄	2,479	2,692	
		Na ₂ SO ₄	1,020	0,657	
		NaCl	2,900	5,040	
		Св. карбонат	4,235	3,731	
2,5	HCO ₃ SO ₄ NaCa	Скважина	1543	1281	3330
2,9	HCO ₃ ClNaCaMg	CaCO ₃ (3% Mg)	2,786	5,759	4,627
2,6	HCO ₃ ClNaCa	CaMg(CO ₃) ₂	2,362	4,794	2,082
		Na ₂ CO ₃	17,720	9,746	11,420
		Na ₂ SO ₄	2,800	1,363	0,299
		NaCl	2,483	4,936	8,740
		Св. карбонат	16,380	6,910	7,546
4,6	HCO ₃ ClNaCaMg	Скважина	1767	1470	2080
4,7	HCO ₃ ClNaCaMg	CaCO ₃ (3% Mg)	0,660	1,585	1,287
5,2	HCO ₃ NaCaMg	CaMg(CO ₃) ₂	12,890	12,480	10,360
		Na ₂ CO ₃	20,210	23,560	38,420
		Na ₂ SO ₄	0,642	0,822	0,199
		NaCl	20,660	8,430	4,230
		Св. карбонат	13,870	4,933	9,936
7,8	ClHCO ₃ NaCaMg	CaCO ₃ (3% Mg)		10,380	
		CaMg(CO ₃) ₂		3,749	
		CaSO ₄		0,648	
		NaCl		82,010	
		MgCl ₂		6,943	
		Св. карбонат		13,090	

**Ряды по убыванию содержания солевых форм
 в водах гидрогеохимических аномалий загрязнения**

Скв. г.М., г/дм ³	Суммарное содержание карбонатных, сульфатных, хлоридных солей	Соотношение компонентов
<u>6858</u> 1,2	CaCO ₃ (3% Mg) > CaMg(CO ₃) ₂ > Na ₂ SO ₄ > Na ₂ CO ₃ > NaCl CO ₃ ²⁻ (6) > SO ₄ ²⁻ (2) > Cl ⁻ (0,84); Ca ²⁺ (5) > Na ⁺ (3,8)	CO ₃ ²⁻ > SO ₄ ²⁻ > Cl ⁻ Ca ²⁺ > Na ⁺
<u>6502</u> 1,5	CaMg(CO ₃) ₂ > NaCl > CaCO ₃ (3% Mg) > CaSO ₄ > Na ₂ SO ₄ CO ₃ ²⁻ (5) > SO ₄ ²⁻ (3,5) > Cl ⁻ (3); Ca ²⁺ (7) > Na ⁺ (3,9)	
<u>3689</u> 1,8	Na ₂ CO ₃ > CaCO ₃ (3% Mg) > Na ₂ SO ₄ > NaCl > CaMg(CO ₃) ₂ CO ₃ ²⁻ (12) > SO ₄ ²⁻ (3,3) > Cl ⁻ (1,7); Na ⁺ (12) > Ca ²⁺ (5)	
<u>1100</u> 1,8	NaCl > CaMg(CO ₃) ₂ > CaSO ₄ > CaCO ₃ (3% Mg) > Na ₂ SO ₄ CO ₃ ²⁻ (7) > Cl ⁻ (5) > SO ₄ ²⁻ (3); Ca ²⁺ (8) > Na ⁺ (5)	CO ₃ ²⁻ > Cl ⁻ > SO ₄ ²⁻ Ca ²⁺ ≥ Na ⁺
<u>1543</u> 2,5	Na ₂ CO ₃ > Na ₂ SO ₄ > CaCO ₃ (3% Mg) > CaMg(CO ₃) ₂ > NaCl CO ₃ ²⁻ (22) > Cl ⁻ (≈2,5) > SO ₄ ²⁻ (≈2,5); Na ⁺ (22) > Ca ²⁺ (5)	CO ₃ ²⁻ > Cl ⁻ > SO ₄ ²⁻ Na ⁺ > Ca ²⁺
<u>1281</u> 2,9	Na ₂ CO ₃ > CaCO ₃ (3% Mg) > NaCl > CaMg(CO ₃) ₂ > Na ₂ SO ₄ CO ₃ ²⁻ (20) > Cl ⁻ (5) > SO ₄ ²⁻ (1,5); Na ⁺ (15) > Ca ²⁺ (11,6)	
<u>3330</u> 2,5	Na ₂ CO ₃ > NaCl > CaCO ₃ (3% Mg) > CaMg(CO ₃) ₂ > Na ₂ SO ₄ CO ₃ ²⁻ (18,5) > Cl ⁻ (9) > SO ₄ ²⁻ (0,5); Na ⁺ (20) > Ca ²⁺ (7)	
<u>1767</u> 4,6	NaCl > NaHCO ₃ > CaMg(CO ₃) ₂ > CaCO ₃ (3% Mg) > Na ₂ SO ₄ CO ₃ ²⁻ (33,5) > Cl ⁻ (20,5) > SO ₄ ²⁻ (0,6); Na ⁺ (41) > Ca ²⁺ (13,5)	
<u>1470</u> 4,7	Na ₂ CO ₃ > CaMg(CO ₃) ₂ > NaCl > CaCO ₃ (3% Mg) > Na ₂ SO ₄ CO ₃ ²⁻ (38) > Cl ⁻ (8,5) > SO ₄ ²⁻ (0,8); Na ⁺ (33) > Ca ²⁺ (14)	
<u>2080</u> 5,2	Na ₂ CO ₃ > CaMg(CO ₃) ₂ > NaCl > CaCO ₃ (3% Mg) > Na ₂ SO ₄ CO ₃ ²⁻ (50) > Cl ⁻ (4) > SO ₄ ²⁻ (0,2); Na ⁺ (42) > Ca ²⁺ (11)	
7,8	NaCl > CaCO ₃ (3% Mg) > MgCl > CaMg(CO ₃) ₂ > CaSO ₄ Cl ⁻ (89) > CO ₃ ²⁻ (14) > SO ₄ ²⁻ (0,6); Na ⁺ (82) > Ca ²⁺ (13) > Mg ²⁺ (7)	Cl ⁻ > CO ₃ ²⁻ > SO ₄ ²⁻ Na ⁺ > Ca ²⁺ > Mg ²⁺

> Cl⁻ > SO₄²⁻ и Na⁺ > Ca²⁺, выделяются подгруппы с некоторыми особенностями в соотношениях компонентов.

Подгруппа вод: а) с минерализацией 2,0–5,0 г/дм³ компонентный состав HCO₃ClNa при HCO₃⁻ ≫ Cl⁻; главные соли Na₂CO₃ и NaCl; б) с минерализацией 5,0–8,0 г/дм³ компонентный состав ClHCO₃Na при приближающихся значениях хлоридов к гидрокарбонатам; в) с минерализацией > 8 г/дм³ при Cl⁻ ≫ HCO₃⁻ воды хлоридные натриевые.

Особенности распределения грунтовых вод околоприродного фона и вод регионального загрязнения в целом характеризуются: а) для первых — приуроченностью к областям инфильтрационного питания атмосферными осадками преимущественно в пределах центральных водоразделов; б) для вторых — к областям транзита на участках склоновых частей водоразделов.

В общем виде минерализация вод увеличивается в направлении фильтрационного потока, что обусловлено возрастанием в этом направлении количеств смешивающихся с грунтовыми водами загрязненных атмосферных осадков. Подтверждением этого является то, что изолинии величин минерализации грунтовых вод повторяют конфигурацию гидроизогипс. Границы участков грунтовых вод с различным компонентным составом представлены изолиниями минерализации с величинами, характеризующими диапазоны, свойственные гидрогеохимическим группам, полученным в результате гидрогеохимического классифицирования (0,5; 1,0).

Площади, занятые грунтовыми водами регионального загрязнения, менее обширны по сравнению с площадями распространения вод околоприродного фона; они образуют узкие полосы на севере, в центральной части города, на западе и юго-западе, частично — на юге. Границы распространения этих вод несколько расширяются на склоновых частях водоразделов рек Яузы, Москвы, Серебрянки и в Нагатинской пойме.

Грунтовые воды аномалий загрязнения распространены на территории г. Москвы в большом количестве, но незначительны по площади: в долине Москвы-реки, в пределах центральной части города, в долине р. Котловки, значительно расширяясь в Измайлове, на Краснохолмской излучине, в Нагатинской пойме, долинах рек Серебрянки, Сходни, а также бассейновых рек Чертановки, Городни и пр.

Рассматривая распространение грунтовых вод разного состава на территории г. Москвы по площади и в разрезе, следует отметить:

а) их площадное распространение носит характер неоднородности вследствие сочетания закономерностей регионального загрязнения, обусловленного фильтрационным потоком со случайным расположением аномалий загрязнения в гидродинамическом отношении, определяемым размещением техногенных объектов;

б) преобладание изменчивости химического состава грунтовых вод в границах отдельных аномалий загрязнения с глубиной залегания;

в) разнообразие минерализаций и компонентного состава грунтовых вод аномалий загрязнения, формирующихся под влиянием различных в геохимическом отношении объектов;

г) подчиненность геохимических типов загрязненных грунтовых вод геохимическим свойствам компонентов-загрязнителей и свойствам вмещающих и окружающих их сред.

3.5.4. Качество грунтовых вод

Оценка качества грунтовых вод осуществлена по ΣM , Cl^- , SO_4^{2-} , $C_{орг}$, микрокомпонентам, жесткости, агрессивности.

Качество вод оценено по категориям: 1 — выше природного фонового содержания; 2 — выше ПДК.

Природные фоновые содержания компонентов-загрязнителей рассматриваются как единые для грунтовых вод разного состава и распространения вследствие того, что природные гидрогеохимические условия грунтового водоносного горизонта в пределах территории г. Москвы близки.

Качество вод оценено и для минерализованных грунтовых вод, так как они являются источником загрязнения подземных вод водоносных горизонтов карбона.

Величины загрязнения вод выражены разностью между максимальным содержанием компонента-загрязнителя и фоновым содержанием.

Соответствие ПДК определяется по максимальному содержанию компонента-загрязнителя в грунтовых водах без вычета фоновой его концентрации.

Региональное загрязнение — незначительное, обусловлено загрязненными атмосферными осадками, а локальное — значительное вследствие загрязнения вод сильноминерализованными стоками.

Региональное загрязнение закономерно увеличивается по фильтрационному потоку; границы локального загрязнения контролируются границами загрязняющих объектов; границы нефтяного загрязнения слабо изменяются по площади, больше — в вертикальном разрезе, что связано со слабой растворимостью нефтяных компонентов и значительностью их испарения и газообразного перемещения.

Основной причиной ухудшения качества грунтовых вод следует считать не только их смешение с жидкими источниками загрязнения, но любой процесс, возникающий антропогенным путем и приводящий к ухудшению качества (например, углекислотное выщелачивание пород при участии техногенного CO_2).

Оценка качества грунтовых вод по минерализации

Стандартная хозяйственно-питьевая норма по минерализации вод — $1,0 \text{ г/дм}^3$; воды с минерализацией $1,5 \text{ г/дм}^3$ используются как допустимые для водоснабжения в районах с дефицитом пресных вод; $3,0 \text{ г/дм}_3$ — предельно допустимые (табл. 3.14).

Величины минерализации грунтовых вод, не превышающие $0,5 \text{ г/дм}^3$, имеют антропогенное формирование. То есть грунтовые воды с минерализацией до 1 г/дм^3 имеют неполное природное формирование; около 5–10% их соединений являются антропогенными, поступающими в грунтовый водоносный горизонт преимущественно с загрязненными атмосферными осадками.

В целом пресные грунтовые воды на территории г. Москвы тяготеют к водоразделам и их периферийным частям, реже — к долинам рек. Они составляют около 70% вод города. В гидрогеологическом отношении пресные грунтовые воды — это воды областей инфильтрационного питания атмосферными осадками, а также транзита; в меньшей степени они занимают области разгрузки (см. рис. 3.2).

Около 30% грунтовых вод имеют минерализацию $1–3 \text{ г/дм}^3$ и неблагоприятны для водоснабжения; из них 20% с минерализацией $1–2 \text{ г/дм}^3$ могут использоваться для хозяйственных нужд. Они распространены в склоновых частях водоразделов, в оврагах, долинах рек, будучи приурочены в основном к областям разгрузки и в незначительной степени — к периферийным частям областей транзита (см. рис. 3.2).

Оценка качества грунтовых вод по pH

Преимущественная часть грунтовых вод характеризуется щелочными pH. Только незначительный процент грунтовых вод сохраняет исходный кислый pH. Это воды, представленные смесями грунтовых вод с кислыми стоками, которые приближены к производствам, связанным с кислотной обработкой сырья, к видам промышленности, в которой задействованы растворы, насыщенные органическими и минеральными кислотами.

Преобладание в грунтовом водоносном горизонте щелочной среды обусловлено полной нейтрализацией кислых атмосферных осадков в зоне аэрации и многочисленностью производств, не использующих и не формирующих кислотных растворов. Полнота же нейтрализации сернокислых атмосферных осадков в зоне аэрации определяется: а) широким распространением в породах вторичных карбонатных минералов, обеспечивающих их сернокислотное выщелачивание, нейтрализующее сернокислотную кислотность; б) широким распространением аммиака, нейтрализующего углекислотную кислотность, и др.

Сведения о загрязнителях грунтовых вод территории г. Москвы

Компонент	Формула состава	HCO ₃ пSO ₄ пCl	HCO ₃ SO ₄ пCl	SO ₄ HCO ₃ Cl	HCO ₃ ClNa	ClHCO ₃ Na	ClNa	
HCO ₃ ⁻	ΣM (г/дм ³)	<0,5	0,5–1,0	1,0–2,0	2,0–5,0	5,0–8,0	>8,0	
	ВПФ, мг-экв/дм ³	3,0						
	Максимальное содержание, мг/дм ³	4,5	8,0	≈9,0	≈10	≈9,0	≈8,0	
SO ₄ ²⁻	Величина загрязнения, мг-экв/дм ³ (мг/дм ³)	1,5 (≈90)	4,5–5,0 (270–300)	6 (350)	7 (≈420)	6 (360)	5 (≈300)	
	ВПФ, мг-экв/дм ³	1,0						
	Максимальное содержание, мг/дм ³	3,0 (144)	8,0 (384)	13 (624)	5 (240)	2–20 (до 1000)		
Cl ⁻	Величина загрязнения, мг/дм ³	2,0 (100)	7,0 (325)	12 (570)	4 (200)	100–1000		
	ВПФ, мг-экв/дм ³	0,4						
	Максимальное содержание, мг/дм ³	1,0 (35)	5,5 (192)	7,6 (266)	9,0 (315)	2–20 и более (70–700 и более)		
Sl _c	Величина загрязнения, мг/дм ³	0,6 (21)	5,1 (175)	7,2 (245)	8,6 (≈300, скачки до 780)			
	Состояние	-1,0	-0,2...+0,9	+0,9...+1,0	более +1,0			
	Гидрогеохимические процессы	Выщелачивание	Выщелачивание – кристаллизация	Кристаллизация Ca(Mg)CO ₃				
Sl _G	Состояние	-3,0	-2,0... 1,0	-1,0...+0,1	более +1,0			
	Гидрогеохимические процессы	Окисление сульфидов	Окисление сульфидов	Окисление сульфидов – кристаллизация CaSO ₄	Кристаллизация CaSO ₄			
	Состояние	0,608 (0,6 · 10 ⁻²)	1,013 (1,0 · 10 ⁻²)	1,520 (1,5 · 10 ⁻²)	2,026 (2,0 · 10 ⁻²)	>2,026 (>2,0 · 10 ⁻²)		
P _{CO₂} кПа (атм.)	Состояние	Углекислотное выщелачивание					P _{CO₂} возрастает, на гидрогеохимические процессы не влияет	

Оценка качества грунтовых вод по компонентам

Все *грунтовые воды* (включая воды с минерализацией $< 0,5$ г/дм³, относимые к околоприродным), *характеризуются по* SO_4^{2-} , Cl^- , $C_{орг}$ ухудшенным и плохим качеством, оцениваемым по отношению к природным фоновым показателям (SO_4^{2-} — 1,0; Cl^- — 0,4; $C_{орг}$ — 3,0 мг-экв/дм³) (см. рис. 3.3, 3.4).

Превышения над фоновыми величинами, определяющие ухудшенное качество пресных грунтовых вод, составляют (мг/ дм³): при минерализации $< 0,5$ г/дм³ по SO_4^{2-} — до 100; Cl^- — 20; $C_{орг}$ (по HCO_3^-) — 90,4; б) при минерализации 0,5–1,0 г/дм³ по SO_4^{2-} — до 300; Cl^- — 175; $C_{орг}$ — 350.

Превышения над фоновыми величинами SO_4^{2-} , Cl^- , $C_{орг}$, определяющие плохое качество грунтовых вод локального загрязнения, отмечаются с увеличением минерализации, но для различных компонентов по-разному.

Постоянное возрастание характерно для хлорида: при ΣM 1,0–2,0 г/дм³ величина его превышения над фоном 245 мг/дм³; ΣM 2,0–5,0 г/дм³ — 300; $\Sigma M > (5–8)$ г/дм³ — 780 мг/дм³. Максимальные величины (до 450 мг/дм³) превышения SO_4^{2-} над фоном соответствуют водам с ΣM 1,0–2,0 г/дм³; снижаются до 200 мг/дм³ в водах с ΣM 2,0–5,0 г/дм³ вследствие кристаллизации $CaSO_4$. В водах с увеличивающейся минерализацией величины превышения SO_4^{2-} над фоном резко отличаются (от 100 до 1000 мг/дм³), что связано с изменчивостью содержания сульфатов в сточных водах.

Максимальные превышения над фоном содержания HCO_3^- ($C_{орг}$) в грунтовых водах локального загрязнения приходятся на воды с минерализацией 1,0–2,0 и 2,0–5,0 г/дм³ (до 420 мг/дм³) и незначительно (до ≈ 300 мг/дм³) снижаются в водах с большей минерализацией.

По отношению к ПДК грунтовые воды загрязнены хлоридами и сульфатами. При минерализации от 1,0 до 8 г/дм³ и более содержание Cl^- увеличивается от 245 до 780 мг/дм³. Эти содержания составляют по Cl^- от $\approx 1–3$ и более ПДК (350 мг/дм³); по SO_4^{2-} — при минерализации 1,0–2,0 г/дм³ — около 1 ПДК (500 мг/дм³) и в водах с минерализацией >5 г/дм³ в отдельных пунктах до 4 ПДК и более.

Оценка качества грунтовых вод по катионогенным компонентам

Из катионогенных макрокомпонентов нормируется с позиций качества натрий (ПДК 200 мг/дм³). Выше ПДК натрий содержится в грунтовых водах с минерализацией более 1,0 г/дм³. С возрастанием

минерализации содержание натрия, подобно хлоридам, увеличивается, достигая 2–3 ПДК и более.

Пресные грунтовые воды содержат натрия ниже ПДК. Кальций не нормируется, но его содержание, подобно натрию в грунтовых водах, значительное. В пресных грунтовых водах с минерализацией 0,5–1,0 г/дм³ содержание кальция — до 100–150 мг/дм³ и больше. В локально распространенных минерализованных водах, даже при хлоридном натриевом их составе, концентрации кальция достигают 200–250 мг/дм³ и выше — существенно сказывается органогенная природа кальция.

Магний содержится в грунтовых водах в незначительных концентрациях — скорее всего, сказывается кристаллизация Mg(OH)₂ в щелочных условиях.

Оценка качества грунтовых вод по микрокомпонентам

Микрокомпоненты в значительной степени поступают в грунтовые воды с загрязненными атмосферными осадками. В атмосфере территории г. Москвы в существенных концентрациях содержатся Fe, Mn, Pb. Это связано преимущественно с поступлением компонентов-загрязнителей из атмосферы. Атмосфера территории г. Москвы содержит в повышенных концентрациях хром, медь, никель, кадмий, цинк, железо, марганец, кальций, магний и др., а особенно газообразные соединения серы (серный ангидрид и т.п.) (табл. 3.15).

Исходя из величин максимальных концентраций микрокомпоненты, указанные в табл. 3.15, в грунтовых водах образуют три группы: а) Sr, F, Zn — первые единицы мг/дм³; б) Fe, Mn, Cu, Mo — десятые мг/дм³; в) Pb — сотые мг/дм³.

По данным минимальных концентраций в грунтовых водах, мг/дм³: цинк содержится в десятых; железо и фтор — сотых; марганец, медь, молибден, стронций, свинец — тысячных долей.

Относительно ПДК выделяются: а) Sr, Cu, Zn, Mo с содержанием в водах < ПДК; б) F, Fe, Pb — < ПДК; в) Mn — < ПДК (в единичных случаях > ПДК) (см. табл. 3.15).

Близость к ПДК Mn и Fe объясняется загрязнением грунтовых вод. Высокие концентрации в водах Sr и F связаны со значительным содержанием этих элементов в минералах пород и с загрязнением вод; Zn — преимущественно с загрязнением вод «органикой».

Микрокомпоненты в грунтовых водах (мг/дм³) территории г. Москвы

Параметр	Fe	F	Mn	Pb	Cu	Zn	Mo	Sr	As
ПДК	0,3	1,5	0,1	0,03	1,0	5,0	0,25	7,0	0,05
Концентрации в воде на отдельных участках опробования	0,2-0,3	0,45-0,95	н.о.	0,02-0,03	0,003-0,05	0,04-1,18			
	0,2-0,3	0,2-0,85	н.о.	0,02	0,003-0,008	0,13-0,16			
		1,25		0,02	0,007	0,04			
					0,05	0,18			
Диапазон в целом	0,03-0,3	0,01-0,3	0,001-0,1		0,012-0,25	0,001-0,016	0,0009-0,014	0,02-3,7	
	<0,3	0,0003-0,08	0,001-0,1	0,003-0,02	0,004-0,14	0,003-2,23	0,0002-0,1	0,007-2,1	
	0,01-0,3	0,24-1,4	0,02-0,2		0,04-0,27	0,13-1,2		0,4-2,3	0,001-0,009
Диапазон в целом	0,01-0,3	0,01-1,4	0,001-0,2	0,003-0,03	0,003-0,27	0,13-1,2	0,0002-0,1	0,007-3,7	0,001-0,05

н.о. — не обнаружено.

Оценка качества грунтовых вод по жесткости

Жесткие грунтовые воды (компоненты Ca + Mg) в концентрации выше 7 и 6 мг-экв/дм³ соответственно на рассматриваемой территории встречаются довольно часто. К ним относятся как пресные воды, так и воды с минерализацией более 1 г/дм³.

Пресные жесткие воды, как правило, имеют минерализацию выше 0,5 г/дм³. Эта граничная величина для жестких вод получена путем анализа точечной корреляционной диаграммы распределения жесткости в водах различной минерализации. Из нее следует, что минерализация около 0,5 г/дм³ соответствует переходу грунтовых вод с допустимой нормой жесткости в воды жесткие. Минерализация около 1,0 г/дм³ соответствует переходу умеренно жестких вод в воды с повышенной жесткостью (более 10 мг-экв/дм³).

Следовательно, граница распространения жестких пресных вод в общем виде повторяет изолинию минерализации 0,5 г/дм³, при этом граница распространения вод повышенной жесткости повторяет изолинию минерализации 1 г/дм³ (рис. 3.5; см. рис. 3.2).



Рис. 3.5. Схематическая карта распространения на территории г. Москвы жестких грунтовых вод

Соответственно, на территории г. Москвы воды с умеренной жесткостью распространены, главным образом, в пределах склоновых частей водоразделов (см. рис. 3.5). Они примыкают к мягким водам, относящимся к центральным частям водоразделов и характеризующимся суммарным содержанием кальция и магния от 1,5 до 3—4, реже — до 5—7 мг-экв/дм³. На северо-западной, северо-восточной и южной окраинах столицы мягкие грунтовые воды распространяются на нижние части водоразделов и непосредственно примыкают к долинам рек. Очень мягкие грунтовые воды с суммарным содержанием кальция и магния до 1,3 мг-экв/дм³ распространены на водоразделе ряда рек (Серебрянка, Лось, Яуза).

Умеренно жесткие пресные грунтовые воды образуют узкие полосы на севере, северо-востоке и в центральной части города, значительно расширяясь в долины рек на юго-западе и юго-востоке.

Грунтовые воды с повышенной жесткостью и минерализацией выше 1 г/дм³ локально распространены в пределах всей территории, однако площади, занимаемые ими, незначительны. Жесткость в них обусловлена существенным содержанием кальция, являющегося на-

ряду с натрием главным катионным компонентом грунтовых вод на территории г. Москвы.

Оценка качества грунтовых вод по агрессивности

Из многих видов агрессивности, которыми могут обладать подземные воды на рассматриваемой территории, широко распространены воды с сульфатной агрессивностью. Оценка их агрессивности проводилась по отношению к наиболее низким из всех значений, предусмотренных для разных бетонов; ими являются концентрации сульфатов 250–500 мг/дм³.

Исходя из этого значительная часть грунтовых вод рассматриваемой территории, обладающих сульфатной агрессивностью, имеет преимущественно гидрокарбонатно-сульфатный и сульфатно-гидрокарбонатный состав и минерализацию 0,5–1,0 г/дм³ и более. Распространены, как правило, в пределах периферийных частей водоразделов, в оврагах, долинах рек, будучи приурочены к областям транзита и разгрузки грунтовых вод.

Пресные грунтовые воды, недонасыщенные по кальцию (особенно с минерализацией до 0,5 г/дм³), обладают гидрокарбонатной агрессивностью. Вследствие окисления органических веществ и образования углекислого газа пресные воды характеризуются углекислотной агрессивностью.

3.5.5. Районирование грунтового водоносного горизонта территории г. Москвы

Основные признаки районирования для условий городов

1. Комплекс признаков, позволяющих устанавливать: а) формирование грунтовых вод в целом (залегание, питание, движение, разгрузка подземных вод); б) формирование химического состава подземных вод (источники, факторы, процессы); в) условия формирования и оценку природного фона главных компонентов, образующих состав и качество вод; г) гидрогеохимические закономерности.

2. Комплекс признаков, устанавливающих: а) наличие техногенных нарушений в составе и качестве грунтовых вод; б) характер их проявлений; в) степень проявлений; г) причинность и негативное влияние на подземные воды с позиций решения прикладных задач.

В условиях городов на основе признаков гидрогеохимического районирования, представленных во втором пункте, предполагается решать вопросы загрязнения подземных вод как наиболее важные и сложные.

Принципы гидрогеохимического районирования

Как показано в разделе 2, гидрогеохимическое районирование проводится на основе гидрогеохимической генетической типизации, номенклатурными единицами которой являются гидрогеохимические типы и подтипы:

1) в *тип* объединяются подземные воды, характеризующиеся общностью химического состава и специфических свойств, обретенных вследствие физико-химических процессов, обусловленных сочетанием источников с группой факторов. В *подтип* в пределах типа выделяются подземные воды определенного геохимического облика, являющиеся результатом ограниченного числа процессов, лимитированных относительно узкими рамками геолого-гидрогеологических условий. На основании пространственного положения подземных вод, принадлежащих к типам и подтипам, осуществляется районирование;

2) в основу гидрогеохимического районирования положен территориально-типовой прием разграничения. Это значит, что участки территории, соответствующие подземным водам одного какого-либо типа или подтипа, могут быть разобобщенными;

3) при гидрогеохимическом районировании решаются теоретические вопросы формирования и прикладные задачи;

4) при гидрогеохимическом районировании территории распространения одного водоносного горизонта в его пределах выделяются: в соответствии с типами — гидрогеохимические провинции и в соответствии с подтипами — районы. Границы провинций и районов обобщены и схематизированы.

На территории г. Москвы грунтовые воды составляют три гидрогеохимических типа.

Тип 1 пресных грунтовых вод с околоприродным формированием химического состава посредством углекислотного выщелачивания пород: окисления сульфидных минералов и сопровождающего этот процесс сернокислотного выщелачивания пород; окисления органических соединений и микрокомпонентов; кристаллизации карбонатных соединений Ca, Mg и тяжелых металлов в окисленных формах. Условия по Eh преимущественно окислительные; по pH воды нейтрально-щелочные.

Околофоновые концентрации: Cl^- — 0,4; SO_4^{2-} — 1,0; $\text{C}_{\text{орг}}$ — 3,0 мг-экв/дм³. Минерализация вод менее 0,5 г/дм³, компонентный состав $\text{HCO}_3 \text{ и } \text{SO}_4 \text{ и } \text{ClCaMgNa}$. Около 5% от минерализации составляют компоненты-загрязнители с величинами загрязнения Cl^- — 21, SO_4^{2-} — 100, $\text{C}_{\text{орг}}$ — 90 мг/дм³.

Воды преимущественно мягкие, чаще всего ненасыщенные кальцием, в высокой степени недонасыщенные гипсом. Способствуют уменьшению прочностных свойств пород и увеличению фильтрационных свойств пород.

В пределах типа 1 выделяются грунтовые воды двух подтипов:

- *воды подтипа 1.1* минерализованы до $0,4 \text{ г/дм}^3$, состав $\text{HCO}_3\text{CaMgNa}$, отличаются большим процентным содержанием HCO_3^- , меньшим (как правило $< 5 \text{ экв.}\%$) SO_4^{2-} и Cl^- . То есть они очень слабо загрязнены по SO_4^{2-} и Cl^- ; несколько более по органическим загрязнителям, но более подвержены загрязнению: а) «органикой», что способствует формированию в них повышенных концентраций CO_2 , и б) тяжелыми металлами, вызывающему уменьшение растворимости их соединений и интенсификации кристаллизации. С учетом сказанного можно предположить, что эти воды наиболее благоприятны для использования в питьевых и хозяйственных целях;
- *воды подтипа 1.2*, характеризующиеся минерализацией $\approx 100 \text{ мг/дм}^3$, повышенной по сравнению с водами подтипа 1.1, но содержание в них SO_4^{2-} и Cl^- превышает $5 \text{ экв.}\%$ (хотя не достигает $10 \text{ экв.}\%$), т.е. они менее качественные по сравнению с водами подтипа 1.1.

Воды подтипа 1.2 минерализованы в диапазоне $0,4\text{--}0,5 \text{ г/дм}^3$. В их компонентном составе наряду с HCO_3^- повышены (от 5 до $10 \text{ экв.}\%$) SO_4^{2-} и Cl^- . Они распространены на участках преимущественного инфильтрационного питания в пределах центральных и склоновых частей водоразделов; занимают значительные площади в северной, северо-восточной, юго-западной и южной частях территории г. Москвы. По сравнению с площадями, занятыми грунтовыми водами второго и третьего типов, площади распространения вод данного типа наибольшие. Они относятся к водам относительно хорошего качества; незначительные ограничения их качества связаны с загрязнением органическими веществами, хлоридами и сульфатами. Могут использоваться для водоснабжения.

Тип 2 пресных вод регионального загрязнения атмосферными загрязненными осадками и породами, которые на территории г. Москвы существенно загрязнены. Минерализация вод $0,5\text{--}1,0 \text{ г/дм}^3$, компонентный состав $\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{pCl}$.

Основные процессы: а) окисление техногенной «органики» с образованием CO_2 ; б) углекислотное выщелачивание пород слабо растворимых карбонатов кальция и магния и хорошо растворимого карбоната натрия; в) окисление сульфидов металлов, а также

на участках с восстановительными условиями их восстановления, способствующее накоплению тяжелых металлов в водах; г) сернокислотное выщелачивание пород; д) нейтрализация кислых атмосферных осадков в случае их неполной нейтрализации в зоне аэрации; е) окисление аммония в нитрат и сорбция аммония. Воды данного типа существенно загрязнены по отношению к околофоновым значениям концентраций грунтовых вод.

Величины загрязнения составляют: Cl^- — 175; SO_4^{2-} — 326; HCO_3^- — 300 мг/дм³. Воды пересыщены по кальциту, недонасыщены по гипсу; P_{CO_2} — около $1,0 \cdot 10^3$ Па.

Грунтовые воды типа 2 распространены на участках транзита в пределах периферийных частей водоразделов; занимают незначительные по размерам площади, они в виде узких полос ограничивают площади распространения грунтовых вод типа 1. Грунтовые воды данного типа характеризуются пониженным качеством вследствие жесткости и загрязнения. В то же время, подобно водам типа 1, воды данного типа имеют место в разных частях территории г. Москвы.

Тип 3 минерализованных грунтовых вод локального загрязнения. Основные источники загрязнения вод этого типа представлены стоками различных объектов и загрязненными атмосферными осадками, формирующимися в пределах твердых отходов. Основной процесс формирования состава грунтовых вод — смешение с растворами-загрязнителями.

Грунтовые воды этого типа делятся на два подтипа:

- *подтип 3.1* грунтовых вод умеренного локального загрязнения. Минерализация 1,0–2,0 г/дм³, компонентный состав $\text{SO}_4\text{HCO}_3\text{Cl}(\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl})\text{CaNaMg}$. Величины загрязнения, мг/дм³: Cl^- — 245; SO_4^{2-} — 450; $\text{C}_{\text{орг}}$ — 350. Воды жесткие; значительно перенасыщены по кальциту: SI_{C} (+0,9...+1,0); слабо недонасыщены, а единично перенасыщены по гипсу: SI_{G} (–1,0...+0,1); с существенным парциальным давлением CO_2 . Развиты процессы кристаллизации карбонатов кальция, окисление микрокомпонентов органическими кислотами, сернокислотное выщелачивание. Существенно изменяются фильтрационные и прочностные свойства пород. Воды подтипа 3.1 распространены преимущественно в областях разгрузки в пределах понижений рельефа и в долинах рек. Площади, занимаемые этими водами, незначительные и встречаются не во всех долинах рек и не на всем протяжении той или иной реки. Грунтовые воды подтипа 3.1 непригодны для водоснабжения; в то же время участки их распростра-

нения характеризуются породами с улучшенными прочностными свойствами;

- *подтип 3.2* грунтовых вод неравномерного локального загрязнения. В подтип объединены воды с минерализацией 2,0–8,0 г/дм³ и болсе (обнаружены воды с минерализацией около 50 г/дм³). На основании особенностей распределения компонентов в зависимости от возрастающей минерализации отмечаются гидрогеохимические особенности для вод с минерализацией 2,0–5,0 и 5,0–8,0 г/дм³. В этих водах существен процесс кристаллизации гипса, приводящий к формированию вод при минерализации 2,0–50 г/дм³ — HCO_3ClNa состава, при 5,0–8,0 г/дм³ — ClHCO_3Na состава и при минерализации > 8,0 г/дм³ — ClNa состава. Высокая минерализация этих вод не позволяет считать их пригодными для водоснабжения.

Границы распространения грунтовых вод различных типов и подтипов достаточно достоверны, так как при их оценке учтены гидродинамические условия грунтового горизонта. Они соответствуют изолиниям минерализации на схематической гидрогеохимической карте (см. рис. 3.2, рис. 3.6).



Рис. 3.6. Схематическая карта гидрогеохимического районирования грунтового водоносного горизонта г. Москвы

3.6. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ КАРБОНА

3.6.1. Гидрогеохимические условия водоносных горизонтов карбона

Водоносный горизонт C_3k_{sm} . Характеризуется по материалам 2000 г. По данным гидрогеохимического классифицирования воды горизонта образуют группы (рис. 3.7) по минерализации, г/дм³:

- 1 — < 0,26 ($\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{CaпNaпMg}$ состава);
- 2 — 0,26–0,85 ($\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{пClCaNaпMg}$ состава);
- 3 — 0,85–1,24 ($\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{ClCaNaпMg}$ состава);
- 4 — $\gg 1,24$ г/дм³ ($\text{HCO}_3\text{ClSO}_4\text{NaCaпMg}$ состава).



Рис. 3.7. Классификационные график и таблица подземных вод касимовского водоносного горизонта (C_3k_{sm}) территории г. Москвы, 2000 г.

Гидрогеохимические закономерности в рассматриваемом водоносном горизонте представлены следующими изменениями в компонентном составе подземных вод, происходящими при возрастании минерализации:

1) увеличение SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ и уменьшение HCO_3^- , Ca^{2+} в практически пресных (ΣM до $1,24 \text{ г/дм}^3$) подземных водах при постоянном соотношении $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$;

2) более существенное увеличение в воде хлоридов по сравнению с SO_4^{2-} , что приводит при достижении минерализации воды порядка $1,0-1,24 \text{ г/дм}^3$ к изменению соотношения $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ на соотношение $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$;

3) неизменное главенствующее положение HCO_3^- среди анионов, что является результатом более существенной по сравнению с хлоридом и сульфатом роли органического углерода в загрязнении вод;

4) убывание процентного содержания HCO_3^- в водах при возрастании минерализации обуславливается кристаллизацией слаборастворимых карбонатных соединений, образуемых с кальцием и магнием углеродом минерального генезиса;

5) увеличение в компонентном составе воды при возрастании минерализации натрия и уменьшение кальция; кальций остается в минимальных слабоизменяющихся концентрациях. Это определяет изменение соотношения катионов $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ на соотношение $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$.

Распространение пресных подземных вод различного химического состава на территории г. Москвы характеризуется: а) приуроченностью вод с минимальной минерализацией к участкам максимального питания водоносного горизонта загрязненными атмосферными осадками, соответствующим центральным водораздельным пространствам; вод с промежуточными величинами минерализации — к участкам транзита, соответствующим средним и нижним склонам водоразделов; б) воды с максимальной ($>1,0 \text{ г/дм}^3$) минерализацией образуют в пределах водоносного горизонта локальные участки в долине р. Москвы и ее притоков (рис. 3.8, 3.9).

Водоносный горизонт $C_3\text{pд-мс}$. Подземные воды по результатам гидрогеохимического классифицирования данных 1972 г. разделяются на группы (рис. 3.10) по минерализации, г/дм^3 :



Рис. 3.8. Гидрогеохимическая карта касимовского водоносного горизонта ($C_3\text{ksm}$) территории г. Москвы, 2000 г.



Рис 3.9. Гидроизогипсы касимовского водоносного горизонта ($C_3 ksm$) территории г. Москвы, 2000 г.

- 1 — $< 0,6$ (HCO_3 и SO_4 в составе);
- 2 — $0,6-1,0$ (HCO_3 , SO_4 и Cl в составе);
- 3 — $> 1,0$ (HCO_3 , SO_4 и Cl в составе).



Рис. 3.10. Классификационные график и таблица подземных вод мячковско-подольского водоносного горизонта ($C_2 pd-mc$), 1972 г.

Подземные воды первой группы наименее минерализованы и хлоридов в них менее 5 экв.%. В концентрациях 5–10 экв.% хлориды появляются в воде при минерализации 0,6–1,0 г/дм³, а при минерализации более 1,0 г/дм³ его концентрации превышают 10 экв.%.
Подобно хлоридам, в рассматриваемых водах в зависимости от минерализации распределен натрий. Изначально в водах его содержится 5–10 экв.%; начиная от минерализации 0,6 г/дм³, концентрация повышается до 10 экв.%, а при минерализации >1 г/дм³ натрий преобладает над магнием. Наряду с хлоридами и натрием, в водах при возрастании минерализации повышается процент сульфатов. Процентные концентрации гидрокарбоната и магния уменьшаются, калий изменяется слабо.

При любой минерализации главными в водах остаются гидрокарбонат и кальций. Соотношение между анионами $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$ также постоянно; меняется соотношение между катионами $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$ на $Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+}$.

Удаление из вод рассматриваемого горизонта HCO_3^- и Mg^{2+} объясняется кристаллизацией $MgCO_3$.

В водоносном горизонте $C_2 pd-mc$ имеются, по данным 1972 г., гидрохимические отклонения частного характера. Так, в западной части горизонта воды с минерализацией $< 0,6$ г/дм³ содержат сульфата < 5 экв.%, что, по-видимому, объясняется слабым протеканием процесса окисления сульфидных минералов; в северо-западной и центральной частях горизонта воды с той же минерализацией характеризуются повышенным (>10 экв.%) содержанием сульфата, что можно объяснить интенсификацией процессов окисления сульфидов вследствие усиления окислительной обстановки в условиях увеличения мощности зоны аэрации при водоотборе.

Водоносный горизонт $C_2 pd-mc$ имеет, по данным 1972 г., гидрохимические отклонения частного характера. Так, в западной части горизонта воды с минерализацией $< 0,6$ г/дм³ содержат сульфата < 5 экв.%, что, по-видимому, объясняется слабым протеканием процесса окисления сульфидных минералов; в северо-западной и центральной частях горизонта воды с той же минерализацией характеризуются повышенным (>10 экв.%) содержанием сульфата, что можно объяснить интенсификацией процессов окисления сульфидов вследствие усиления окислительной обстановки в условиях увеличения мощности зоны аэрации при водоотборе.

Распространение подземных вод рассматриваемого водоносного горизонта, характеризующихся различной минерализацией и компонентным составом, согласно классификации, на территории города подчинено закономерностям (рис. 3.11).



Рис. 3.11. Гидрогеохимическая карта мячковско-подольского водоносного горизонта (C_2pd-mc) территории г. Москвы, 1972 г.

Главная закономерность заключается в приуроченности подземных вод с минимальной минерализацией к участкам, тяготеющим к водораздельным формам рельефа, т.е. к центральным частям водоразделов; подземных вод с максимальной минерализацией — к речным долинам и озерным котловинам.

Воды с минерализацией более $1,0 \text{ г/дм}^3$ имеют, как правило, локальное распространение.

Результаты гидрогеохимического классифицирования за 2000 г.: подземные воды водоносного горизонта C_2pd-mc составляют шесть групп (рис. 3.12) по минерализации, г/дм^3 :

- 1 — $< 0,5$ (преимущественно HCO_3SO_4 состава с редко встречающимся $\text{HCO}_3\text{пSO}_4$);
- 2 — $0,5-0,8$ (главным образом $\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{пCl}$ состава и редко встречающимся $\text{SO}_4\text{HCO}_3\text{пCl}$);
- 3 — $0,8-0,95$ ($\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$ состава);
- 4 — $0,95-1,28$ ($\text{HCO}_3\text{ClSO}_4$ состава);
- 5 — $1,28-1,48$ ($\text{ClHCO}_3\text{SO}_4$ состава);
- 6 — $>1,48$ ($\text{ClSO}_4\text{HCO}_3$ состава).



Рис. 3.12. Классификационные график и таблица подземных вод мячковско-подольского водоносного горизонта (C_2pd-mc) территории г. Москвы, 2000 г.

Гидрогеохимические особенности рассматриваемого водоносного горизонта, характерные для 2000 г., заключаются:

- 1) в существенно повышенной относительно 1972 г. минерализации воды, достигающей величин $\approx 1,5 \text{ г/дм}^3$;
- 2) значительной роли Cl^- в компонентном составе вод; постоянном возрастании его концентрации по мере увеличения минерализации; его преобладающем над сульфатом и гидрокарбонатом процентном содержании в водах с минерализацией более $1,28 \text{ г/дм}^3$;

3) разделении компонентов состава на две группы HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} с уменьшающейся концентрацией и SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ с увеличивающейся концентрацией при возрастании минерализации воды;

4) сохранении в пресных водах преимущественного соотношения между анионами $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$;

5) принципиальной смене характера соотношений между анионами (увеличение роли хлорида, сульфата и уменьшение — гидрокарбоната) в пределах вод с минерализацией $> 1 \text{ г/дм}^3$, приведшей к соотношению $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ и, наконец, $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$.

Особенности пространственного характера заключаются в следующем. Воды с минерализацией до $0,5 \text{ г/дм}^3$ широко распространены на юго-западе территории г. Москвы (рис. 3.13, 3.14).



Рис 3.13. Гидрогеохимическая карта мячковско-подольского водоносного горизонта (C_2pd-mc) территории г. Москвы, 2000 г.



Рис. 3.14. Гидроизогипсы мячковско-подольского водоносного горизонта (C_2pd-mc) территории г. Москвы, 2000 г.

Минерализованные ($> 1,0 \text{ г/дм}^3$) воды приурочены преимущественно к долине р. Москвы, к участкам отсутствия юрских глин. Возможно, на распространение вод с относительно повышенной минерализацией и соответствующим ей составом в северо-восточном направлении влияет водоотбор. Подтягивание загрязненных вод в юго-западном направлении, отмеченное для 1972 г., в 2000-х гг. по гидрогеохимическим данным практически не наблюдалось.

Водоносный горизонт C_1ok-pr . По результатам гидрогеохимического классифицирования данных за 1972 г. подземные воды по особенностям химического состава образуют группы (рис. 3.15) по минерализации, г/дм^3 :

- 1 — $< 0,6$ ($\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{MgCaNa}$ состава);
- 2 — $0,6-0,8$ ($\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{CaMgNa}$ состава);
- 3 — $> 0,8$ ($\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{пClCaMгпNa}$ состава).



Рис. 3.15. Классификационные график и таблица подземных вод окско-протвинского водоносного горизонта (C_1ok-pr) территории г. Москвы, 1972 г.

Для вод всех трех групп характерно преобладание HCO_3^- над SO_4^{2-} ; в водах первой группы содержание $\text{Cl}^- < 5$ экв.%, а наиболее часто встречающаяся минерализация относится к узкому диапазону минерализации, составляющему $0,5-0,6$ г/дм³.

В целом подземные воды *C₁ok-pr* за рассматриваемый временной период минерализованы преимущественно от $0,5$ до $0,9$ г/дм³.

Повышенное (от 5 до 10 экв.%) содержание хлорид-иона соответствует водам с минерализацией $0,8-0,9$ г/дм³.

В водах всех трех групп ранжированный ряд анионов $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$; ряд катионов изменяется от $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$ к $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$.

При возрастании минерализации увеличивается в водах процентное содержание HCO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} ; уменьшается содержание SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Na^+ (рис. 3.16).



Рис. 3.16. Гидрогеохимическая карта окско-протвинского водоносного горизонта (*C₁ok-pr*) территории г. Москвы, 1972 г.

Распространение подземных вод различного состава в пределах водоносного горизонта *C₁ok-pr* в общих чертах отражает особенности рельефа приуроченностью вод минимальной минерализации к положительным, а максимальной — к отрицательным его формам.

Результаты гидрогеохимического классифицирования за 2000 г.: разграничение вод горизонта *C₁ok-pr* на группы (рис. 3.17) по минерализации, г/дм³:

- 1 — $< 0,65$ г/дм³ (HCO_3SO_4 состава);
- 2 — $0,65-1,1$ г/дм³ ($\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{пCl}$ состава);
- 3 — $> 1,1$ г/дм³ ($\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{пCl}$ состава).



Рис. 3.17. Классификационные график и таблица подземных вод окско-протвинского водоносного горизонта (*C₁ok-pr*), 2000 г.

В целом воды рассматриваемого периода практически пресные; превышение минерализации над $1,0$ г/дм³ редки и незначительны. Тем не менее эти воды содержат хлоридов более 10 экв.%; по характеру распределения в зависимости от минерализации следует вывод о их тенденции к возрастанию. Незначительно при повышении минерализации в воде возрастает содержание сульфатов; содержание гидрокарбонатов уменьшается.

Соотношение между анионами в водах всех групп постоянно:
 $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ (рис. 3.18).



Рис. 3.18. Гидрогеохимическая карта окско-протвинского водоносного горизонта (C_1ok-pr) территории г. Москвы, 2000 г.

В правобережной (относительно р. Москвы) части территории г. Москвы преобладают воды с минерализацией, как правило, от 0,4 до 0,5 г/дм³. Такие же воды имеются на северо-западе города, в его левобережной части. И только северо-восток территории города характеризуется распространением вод с минерализацией более 0,5 г/дм³. Распределение неоднородное, выраженное приуроченностью вод с большей минерализацией к придолинным участкам рек, особенно р. Москвы и р. Яузы.

Неравномерность распределения подземных вод различного химического состава в пределах C_1ok-pr горизонта территории г. Москвы подтверждается аналогичным по проявлению неравномерности характером гидродинамической обстановки (рис. 3.19).



Рис. 3.19. Гидроизогипсы окско-протвинского водоносного горизонта (C_1ok-pr) территории г. Москвы, 2000 г.

3.6.2. Микрокомпоненты в подземных водах горизонтов карбона

Азотные соединения

Распределение в водах водоносных горизонтов карбона азотных соединений в целом характеризуется диапазоном от 0,005 до 10 мг/дм³ и более. По водам водоносного горизонта C_3 данных мало; значительно больше их по водам водоносных горизонтов C_2 и C_1 . В водах этих двух водоносных горизонтов NH_4^+ и NO_3^- содержатся в близких концентрациях, преимущественно 0,1–1,0 мг/дм³; в меньшем числе проб — в концентрациях 1,0–5,0 мг/дм³; редко — 5,0–10,0 мг/дм³ и выше.

NO_2^- имеет меньшие концентрации — от < 0,005 до 0,1–1,0 мг/дм³: чаще — < 0,005 и 0,1–1,0 мг/дм³; реже — 0,1–1,0 мг/дм³ (табл. 3.16).

Такое распределение концентраций позволяет сделать выводы:

а) о широком распространении азотных соединений всех трех форм (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) в водах водоносных горизонтов карбона и о существенных их концентрациях;

**Распределение азотных соединений
 в водах водоносных горизонтов карбона**

Индекс Число проб	Компонент	Диапазоны содержаний, мг/дм ³					
		<0,005	0,01–0,05	0,1–1,0	1,0–5,0	5–10	>10
C ₃ 6	NH ₄ ⁺	1		2	3		
	NO ₂ ⁻						
	NO ₃ ⁻			4		2	
C ₂ 33	NH ₄ ⁺	3		25	5		
	NO ₂ ⁻	15	7	11			
	NO ₃ ⁻	2		24	1	4	2
C ₁ 33	NH ₄ ⁺	3		22	8		
	NO ₂ ⁻	16	8	29			
	NO ₃ ⁻	1		20	11		1

б) об определяющей роли органической составляющей в формировании NH₄⁺, а кислорода — в образовании NO₂⁻, NO₃⁻.

Существенными источниками органических загрязнений в водах горизонтов карбона являются загрязненные ими грунтовые и поверхностные воды; окислителями, помимо кислорода атмосферы, являются органические кислоты. Окисление аммония в нитрит и нитрат протекает слабее по сравнению с окислением «органики», так как именно она является активнейшим потребителем кислорода. Этим объясняется сохранность аммония в водах в значительных концентрациях.

Формированию азотных соединений в водах горизонтов карбона способствует эксплуатационный режим, интенсифицирующий перетоки в них грунтовых и поверхностных вод.

**Распределение других микрокомпонентов
 в подземных водах водоносных горизонтов карбона**

Рассматривается на примере Sr, F, Mn, B, Ba, Al, характеризующихся различными геохимическими свойствами, что дает возможность получить представление о формировании микрокомпонентного состава вод названных водоносных горизонтов на территории г. Москвы в целом.

Рассмотрение особенностей распределения микрокомпонентов в водоносных горизонтах карбона осуществлено для каждого горизонта отдельно.

В целом концентрации рассматриваемых микрокомпонентов в водах верхнего, среднего и нижнего карбона имеют диапазон от ты-

сячных мг/дм³, установленных по Mn (0,002), до первых десятков, установленных по Sr (20,1). Диапазон средних их концентраций, установленный по Mn, — от 0,006 мг/дм³ до единиц (по Sr — 9,0 мг/дм³). Диапазон максимальных концентраций микрокомпонентов в водах карбона — от 0,095 мг/дм³ (Ba) до первых десятков 20,1 (Sr) мг/дм³ (табл. 3.17).

Таблица 3.17

**Изменение концентраций микрокомпонентов
в подземных водах горизонтов карбона**

В одном комплексе	Концентрация, мг/дм ³	Концентрация от C ₃ к C ₁ , мг/дм ³				
		Увеличивается			Уменьшается незначительно	
		Sr	F	B	Ba	Mn
C ₃	Минимум	0,5	0,12	0,004	0,037	0,002
	Максимум	5,6	2,03	0,27	0,13	0,45
	Среднее	2,5	0,8	0,16	0,09	0,014
C ₂	Минимум	0,5	0,06	0,004	0,006	0,002
	Максимум	16,5	7,33	0,97	0,173	0,83
	Среднее	3,3	4,05	0,24	0,06	0,015
C ₁	Минимум	1,1	0,87	0,18	0,012	0,002
	Максимум	20,1	4,05	1,27	0,095	0,57
	Среднее	9,0	2,9	0,7	0,06	0,006

Распределение значений микрокомпонентов в водах карбона (см. табл. 3.17):

а) минимальных:

C₃ — Sr, F — десятые мг/дм³; Ba — сотые; B, Mn — тысячные;

C₂ — Sr, F — сотые—десятые мг/дм³; B, Ba, Mn — тысячные;

C₁ — Sr, F — десятые—единицы мг/дм³; B — десятые; Ba, Mn — десятые—тысячные;

б) максимальных:

C₃ — до 10 мг/дм³ при [Sr] > [F]; B, Ba, Mn — десятые;

C₂ — Sr, F — до 20 мг/дм³ при [Sr] > [F]; B, Ba, Mn — десятые;

C₁ — Sr, F — до 20 мг/дм³ и выше при [Sr] ≫ [F]; B — единицы, Ba — сотые, Mn — десятые;

в) средних:

C₃ — Sr сотые—десятые при [Sr] > [F]; B — десятые; Ba, Mn — сотые;

C₂ — Sr, F единицы при [Sr] ≈ [F]; B — десятые; Ba, Mn — сотые;

C₁ — Sr, F единицы (до 10) при [Sr] ≫ [F]; B — десятые; Ba, Mn — сотые.

В общем виде:

1) по характеру распределения в водах всех трех водоносных горизонтов карбона микрокомпоненты по данным минимальных, максимальных и средних значений образуют группы Sr, F, B, Mn, Ba;

2) Sr, F значительно преобладают над B, Mn, Ba;

3) Sr преимущественно превышает концентрации F.

Для вертикального разреза карбона характерна неоднородность в распределении минимальных, максимальных и средних значений рассматриваемых микрокомпонентов. Неоднородность для отдельных микрокомпонентов является своеобразной, что определяется пространственной неоднородностью распределения микрокомпонентов в водах отдельно взятого водоносного горизонта.

По частоте встречаемости микрокомпоненты образуют ряды по уменьшению концентраций (табл. 3.18):

а) в водах горизонта C_3 (мг/дм³):

F (0,1–5,0) > Sr (0,1–1,0) > B (0,05–0,5) > Ba, Mn (0,01–0,5) > Al (0,01–0,05);

б) в водах горизонта C_2 (мг/дм³):

Sr (0,1–15) > F (0,05–5,0) > B (0,05–5,0) > Mn (<0,005–1,0) > Ba (0,005–0,5) > Al (<0,005–0,5);

в) в водах горизонта C_1 (мг/дм³):

Sr (1,0–15 и более) > F (0,5–5,0) > B (0,1–5,0) > Ba (0,01–0,1) > Mn (<0,005–1,0) > Al (0,005–0,01).

В целом в водах всех трех горизонтов микрокомпоненты образуют группы: Sr, F с концентрациями десятые—единицы мг/дм³; B, Ba, Mn — десятые—сотые мг/дм³; Al — преимущественно сотые мг/дм³.

По данным средних содержаний в водах C_3 , C_2 , C_1 (табл. 3.19) очевидно, что микрокомпоненты образуют соотношения $[Sr] > [F] > [B] > [Ba] > [Mn]$. По минимальным и максимальным содержаниям однозначность в распределении микрокомпонентов сохраняется только в водах горизонта C_1 , а в водах горизонтов C_2 и C_3 — определено $[Sr] > [F]$.

Для рассматриваемых микрокомпонентов составлены ранжированные ряды по возрастанию концентраций в водах горизонтов C_3 , C_2 , C_1 , в каждый из которых вошло 50 и более значений.

В разрезе карбона установлен следующий характер изменения концентраций микрокомпонентов (см. табл. 3.19, 3.20):

а) минимальные, максимальные и средние концентрации Sr, F, B преимущественно увеличиваются в водах от горизонта C_3 к C_1 ; Ba и Mn меняются неравномерно с тенденцией к уменьшению;

Распределение микрокомпонентов в водах водоносных горизонтов карбона

Индекс Число проб	Компонент	Диапазон содержания, мг/дм ³													
		<0,005	0,005-0,01	0,01-0,05	0,05-0,1	0,1-0,5	0,5-1,0	1,0-5,0	5,0-10,0	10,0-15,0	>15,0				
C ₃ 6	Al	4		2											
	Ba			2	3	1									
	B	1			2	3									
	Sr					3	3								
	F					3	1	2							
	Mn	1		1	2	2									
C ₂ 38	Al	8	8	9	2	1									
	Ba		2	8	21	7									
	B				7	22	5	4							
	Sr					1	8	14	10	4	1				
	F					2	7	29							
	Mn	3	4	17	7	7	1								
C ₁ 35	Al	14	20			1									
	Ba			25	10										
	B					15	16	4	6	14	2				
	Sr							13	33						
	F							2	1						
	Mn	7	10	10	6	1	1								

**Соотношения между микрокомпонентами
 в водах водоносных горизонтов карбона**

Водоносные комплексы карбона	Соотношения компонентов по концентрациям		
	минимальным	максимальным	средним
C ₃	[Sr] > [F] > [Ba] > [B] > [Mn]	[Sr] > [F] > [Mn] > [B] > [Ba]	[Sr] > [F] > [B] > [Ba] > [Mn]
C ₂	[Sr] > [F] > [Ba] > [B] > [Mn]	[Sr] > [F] > [B] > [Mn] > [Ba]	[Sr] > [F] > [B] > [Ba] > [Mn]
C ₁	[Sr] > [F] > [B] > [Ba] > [Mn]	[Sr] > [F] > [B] > [Ba] > [Mn]	[Sr] > [F] > [B] > [Ba] > [Mn]

Таблица 3.20

**Диапазоны концентраций компонентов (мг/дм³)
 в подземных водах карбона по данным ранжированных рядов**

Водоносные комплексы карбона	Компоненты, мг/дм ³				
	Sr	F	B	Ba	Mn
C ₃	0,5–0,65	0,12–0,4	0,004–0,18	0,037–0,092	0,002
	4,95–5,65	1,53–2,03	0,23–0,27	0,113–0,129	0,064–0,091
	–	–	–	–	0,25–0,45
C ₂	0,32–0,85	0,06	0,004–0,027	0,006–0,016	0,002–0,005
	1,00–4,95	0,19–0,98	0,027–0,08	0,093–0,11	0,012–0,12
	5,00–9,90	1,10–3,16	0,11–0,17	0,146–0,173	0,20–0,48
	10,53–12,60	5,53–7,33	0,20–0,58	–	0,83
	16,5	5,53–7,33	0,80–0,97	–	–
C ₁	1,11–4,95	0,87	0,13–1,27	0,012–0,096	0,002–0,009
	6,26–7,35	1,06–1,87	–	–	0,01–0,08
	9,60–14,00	2,00–4,05	–	–	0,32–0,57
	17,63–20,10	–	–	–	–

б) воды каждого водоносного горизонта карбона с позиций микрокомпонентного состава представляют собой самостоятельные, но в то же время близкие по условиям формирования системы, на образование которых главное влияние оказывают их геохимические свойства, ограничивающие накопление микрокомпонентов в подземных водах вмещающих и окружающих сред водоносных горизонтов карбона.

Все рассмотренные микрокомпоненты (кроме алюминия) в каждом из водоносных горизонтов карбона характеризуются концентрациями, близкими и превышающими ПДК (табл. 3.21).

Устойчивость в подземных водах водоносных горизонтов карбона рассматриваемых микрокомпонентов объясняется присутствием в этих горизонтах их источников, представленных, главным образом, минералами бария, стронция (в C₃ и C₂ — стронцианитом SrCO₃

**Сведения о превышении концентрации микрокомпонентов ПДК
 в водоносных горизонтах карбона по данным ранжирования рядов**

Водоносные горизонты	Концентрация выше ПДК (мг/дм ³)/превышение ПДК (в число раз)				
	Sr	F	B	Ba	Mn
C ₃	<u>5,0</u> 2,5	<u>1,5</u> 1,0	–	<u>0,11</u> 1,0	<u>0,25</u> 2,5
	<u>6,0</u> 3,0	<u>2,0</u> 1,3	–	<u>0,13</u> 1,3	<u>0,45</u> 4,5
	<u>5,0</u> 2,5	<u>3,0</u> 2,0	<u>0,6</u> 1,2	<u>0,11</u> 1,0	<u>0,12</u> 1,2
	<u>10</u> 5,0	<u>5,0</u> 3,3	<u>1,0</u> 2,0	<u>0,15</u> 1,5	<u>0,2</u> 2,0
C ₂	<u>12,6</u> 6,3	<u>7,0</u> 4,6	–	<u>0,17</u> 1,7	<u>0,5</u> 5,0
	<u>16,5</u> 8,2	–	–	–	<u>0,8</u> 8,0
	<u>5,0</u> 2,5	<u>2,0</u> 1,3	<u>1,3</u> 2,6	<u>0,1</u> 1,0	<u>0,1</u> 1,0
	<u>7,0</u> 3,5	<u>4,0</u> 2,5	–	–	<u>0,3</u> 3,0
C ₁	<u>14</u> 7,0	–	–	–	<u>0,6</u> 6,0
	<u>20</u> 10	–	–	–	–
	ПДК, мг/дм ³	2,0	1,5	0,5	0,1

и в C₁ — также целестином SrSO₄ и др.); органическими составляющими (биогенные В, F) и металлами (Mn).

Различия в концентрациях микрокомпонентов в подземных водах обусловлены главным образом растворимостью их миграционных форм. Слабой растворимостью обладают карбонатные формы бора, марганца, карбонатные и сульфатные формы бария. Кристаллизация марганца возможна также при образовании диоксида марганца.

**Основные положения по формированию
 микрокомпонентов в подземных водах карбона**

1. В настоящее время подземные воды водоносных горизонтов карбона содержат микрокомпоненты в концентрациях, превышающих их природные концентрации и ПДК.

Существенной причиной загрязненности подземных вод карбона по микрокомпонентам является значительное питание загрязненными грунтовыми водами, характеризующимися вследствие высо-

кого содержания «органики» преобладанием восстановительных условий над окислительными.

Влияние грунтовых вод на воды карбона ослабевает вниз по разрезу к горизонту C_1 , следствием чего является уменьшение концентрации многих микрокомпонентов в водах этого горизонта.

2. Количественно загрязнение подземных вод карбона некоторыми микрокомпонентами слабее их загрязнения макрокомпонентами, вследствие широкого развития в зоне аэрации процессов, способствующих снижению концентраций микрокомпонентов в грунтовых водах. Это процессы осаждения ряда микрокомпонентов, (Fe, Mn и др.) из стоков (изоморфного, окисления и др.).

3. Интенсифицируется загрязнение вод карбона редкими и рассеянными (V, Li и др.) микрокомпонентами органического генезиса и элементами минералов пород, на которые загрязненные грунтовые воды оказывают агрессивное воздействие.

4. Интенсифицируется загрязнение вод карбона рядом микрокомпонентов (Al и др.), поступающих в грунтовые воды вследствие углекислотного выщелачивания стоками пород зоны аэрации. Этому способствует обогащение большинства стоков органическими компонентами.

5. Ослабевает загрязнение подземных вод карбона микрокомпонентами, образующими соединения с уменьшающейся растворимостью в условиях возрастающих температур.

6. Основным процессом загрязнения вод карбона микрокомпонентами является смешение с жидкими загрязнителями, на фоне которого развиваются остальные процессы.

3.6.3. Формирование химического состава подземных вод карбона

Источники химического состава подземных вод карбона представлены грунтовыми водами, водовмещающими породами, газами.

Грунтовые воды являются поставщиками в водоносные горизонты карбона загрязненных атмосферных осадков, поверхностных вод, жидких и газообразных отходов большого числа разнообразных производств, жилых и административных комплексов, авто- и железнодорожного, а также воздушного транспорта и многих других компонентов негативного действия. В то же время грунтовые воды являются объектом геологической среды, принимающим на себя результаты изменений, происходящих с растворами атмосферы и техногенных объектов в зоне аэрации.

На связь вод карбона с грунтовыми водами указывает характер изменений напоров подземных вод грунтового и водоносных горизонтов карбона на территории г. Москвы (табл. 3.22).

Таблица 3.22

Уровни подземных вод (абс. отметки) водоносных горизонтов грунтового, $C_3 ksm$ — $C_2 pd-mc$ — $C_1 ok-pr$ на территории г. Москвы на февраль 2000 г.

Скважина	Абсолютные отметки устья, м	Уровень подземных вод, абсолютные отметки, м			
		грунтовых	$C_3 ksm$	$C_2 pd-mc$	$C_1 ok-pr$
101774	186.6	≈180	124.14	95.2	57.61
101649	135.6	≈130	9.47	99.11	≈65.0
101760	124.8	≈140	122.96	117.53	≈98.0
101750	150.0	≈140	133.57	115.35	≈93.0

Как видно из табл. 3.22, напоры вод уменьшаются в направлении от грунтового горизонта последовательно в горизонтах C_3 , C_2 , C_1 карбона, что свидетельствует о перетекании грунтовых вод в водоносные горизонты карбона, которое не ограничивается верхним карбоном.

На участках с интенсивной инфильтрацией значительных объемов техногенных растворов через зону аэрации в грунтовые воды и перетекания грунтовых вод в горизонты карбона формируются купола подтопления со значительным повышением уровня воды. Они формируются практически во всех водоносных горизонтах карбона, включая горизонт нижнего карбона (табл. 3.23).

Перетекание грунтовых вод в водоносные горизонты карбона подтверждается рядом показателей, основывающихся на изменениях в химическом составе подземных вод (см. табл. 3.23).

1. Воды горизонтов карбона по данным 1972 и 2000 гг. в природных условиях и грунтовые воды околоприродного фона при незначительном превышении в грунтовых водах хлоридов и преобладании магния над кальцием и натрием в водах нижнего карбона близки.

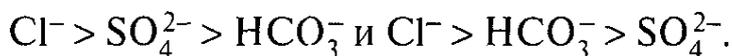
2. При минерализации от 0,5–0,6 до 1,0 г/дм³ воды карбона характеризуются региональным загрязнением вследствие смешения с загрязненными грунтовыми водами. Компоненты-загрязнители вод карбона, подобно грунтовым водам, представлены $C_{орг}$ (HCO_3^-) > SO_4^{2-} > Cl^- . Площади их распространения идентичны площадям распространения грунтовых вод регионального загрязнения.

3. Воды карбона и грунтовые воды с минерализацией >1,0 г/дм³ образуют замкнутые или открытые к рекам участки аномалий загряз-

Изменения в химическом составе вод грунтового водоносного горизонта
и горизонтов карбона

Атмосферные осадки					
Природные			Загрязненные		
ΣМ, г/дм ³	Компонентный состав	ΣМ, г/дм ³	Компонентный состав	ΣМ, г/дм ³	Компонентный состав
<0,03–0,05	HCO ₃ CaMg(Na)	0,08–0,2	HCO ₃ SO ₄ пClпNO ₃ CaMgNa		
Водоносные горизонты					
Близкие к природным			Загрязненные		
ΣМ, г/дм ³	Компонентный состав	ΣМ, г/дм ³	Компонентный состав	ΣМ, г/дм ³	Компонентный состав
<4	HCO ₃ CaMgNa	0,6–1,0	HCO ₃ SO ₄ пClCaMgNa		HCO ₃ SO ₄ пClCaMgNa
0,4–0,6	HCO ₃ пSO ₄ пClCaMgNa	1,0–2,0 >2,0			SO ₄ HCO ₃ ClCaNaпMg HCO ₃ ClNa; ClHCO ₃ Na; ClNa
1972 г.			2000 г.		
Природные			Загрязненные		
ΣМ, г/дм ³	Компонентный состав	ΣМ, г/дм ³	Компонентный состав	ΣМ, г/дм ³	Компонентный состав
		Нет данных			
<0,6	HCO ₃ пSO ₄ CaMgпNa	0,6–1,0 >1,0	HCO ₃ SO ₄ пClCaMgNa HCO ₃ SO ₄ ClCaNaMg		HCO ₃ SO ₄ пCl HCO ₃ SO ₄ Cl HCO ₃ ClSO ₄
<0,6	HCO ₃ SO ₄ MgCaNa	0,6–0,8 >0,8	HCO ₃ SO ₄ CaMgпNa HCO ₃ SO ₄ пClCaMgпNa		HCO ₃ SO ₄ пCl HCO ₃ SO ₄ Cl HCO ₃ ClSO ₄ ClHCO ₃ SO ₄ ClSO ₄ HCO ₃

нения с величинами минерализации, достигающими в грунтовом горизонте часто 8–10, редко — 50 г/дм³, а в горизонтах карбона — около 1,5–2,0 г/дм³. Компонентный состав тех и других вод близок; преобладающие концентрации представлены HCO_3^- при $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$; в водах с минерализацией, доходящей до 1,5–2,0 г/дм³, соотношение между анионами



Данные, полученные при изучении химического состава грунтовых вод и вод нерасчлененного карбона, весьма интересны. Рассмотрим основные из них:

а) подземные воды отложений нерасчлененного карбона в период 1980–1981 гг. имели минерализацию в диапазоне от < 0,3 до 1,2 и даже выше (до 5–6) г/дм³. По результатам гидрогеохимического классифицирования (по Питьевой) их анионный состав изменялся от гидрокарбонатного к гидрокарбонатному с высоким содержанием сульфатов и хлоридов, образуя группы по минерализации, г/дм³:

1 — < 0,3 (HCO_3^- и $\text{HCO}_3\text{пSO}_4$; CaNaMg);

2 — 0,3–0,56 (HCO_3SO_4 ; в единичных случаях $\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{пCl}$; CaMgNa);

3 — 0,56–0,9 ($\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{пCl}$; CaMgNa);

4 — 0,9–1,0 ($\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$; CaNaMg);

5 — > 1,0 ($\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$; и HCO_3ClSO , CaNaMg и NaCaMg);

б) значимые корреляции с минерализацией компонентов: HCO_3^- — 0,65; SO_4^{2-} — 0,53; Cl^- — 0,79;

в) среди компонентов в водах с минерализацией до 0,56 г/дм³ преобладает Ca; при большей минерализации повышается содержание натрия.

К формирующимся в условиях, близких к естественным, отнесены воды с минерализацией < 0,56 г/дм³ HCO_3^- и $\text{HCO}_3\text{пSO}_4\text{CaMgNa}$, а также $\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{CaMgNa}$ состава.

Объяснением этого являются: близость в гидрохимическом отношении горизонта нерасчлененного карбона к грунтовому горизонту; их распространение в единых границах; залегание вод нерасчлененного карбона непосредственно под грунтовым горизонтом.

Подземные воды следующих трех групп нерасчлененного карбона отнесены к водам техногенного формирования, основанием чего являются повышенные в них по сравнению с водами естественного формирования концентрации компонентов, которые не обеспечены природными условиями.

В качестве компонентов-загрязнителей установлены Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} .

Участие грунтовых вод в формировании состава вод карбона подтверждается идентичностью распределения вод с близкой и более высокой минерализацией в грунтовом водоносном горизонте и в горизонтах карбона; идентичностью компонентного состава подземных вод грунтового водоносного горизонта и вод отложений карбона (табл. 3.24); близким площадным распространением на территории г. Москвы вод регионального и локального загрязнения грунтовых вод и вод карбона (см. рис. 3.7, 3.12).

Таблица 3.24

Состав грунтовых вод и вод нерасчлененных каменноугольных отложений

Грунтовые воды		Воды нерасчлененного карбона	
ΣM , г/дм ³	Компоненты	ΣM , г/дм ³	Компоненты
<0,3	HCO_3^- и $\text{HCO}_3^- \text{пSO}_4$	до 0,3	HCO_3^- и $\text{HCO}_3^- \text{пSO}_4$
0,3–0,5	HCO_3^- и $\text{HCO}_3^- \text{SO}_4 \text{пCl}$	0,3–0,56	$\text{HCO}_3^- \text{SO}_4$
0,5–1,0	$\text{HCO}_3^- \text{SO}_4 \text{пCl}$	0,56–0,9	$\text{HCO}_3^- \text{SO}_4 \text{пCl}$
>1,0	$\text{SO}_4 \text{HCO}_3^- \text{пCl}$	0,9–0,97	$\text{HCO}_3^- \text{SO}_4 \text{Cl}$
>1,0	$\text{SO}_4 \text{HCO}_3^- \text{Cl}$	>0,97	$\text{SO}_4 \text{HCO}_3^- \text{Cl}$

Сравнительный анализ гидрогеохимических условий подземных вод нерасчлененных отложений карбона и грунтового водоносного горизонта показал:

а) в подземных водах карбона воды $\text{HCO}_3^- \text{CaMg}$ состава имеют минерализацию до 0,3 г/дм³; в грунтовых водах — до 0,5 г/дм³. Более широкая представительность последних в грунтовом водоносном горизонте объясняется тем, что углерод в них имеет бóльшую связь с загрязнением «органикой», чем в подземных водах карбона, более удаленных от почвенного слоя.

б) подземные воды карбона с минерализацией, превышающей 0,3 г/дм³, и грунтового водоносного горизонта с минерализацией более 0,5 г/дм³ сходны по компонентному составу в целом и по компонентам-загрязнителям в частности.

в) точечные данные по нерасчлененному карбону о водах с минерализацией >1,0–1,5 г/дм³ и повышенным содержанием хлоридов и сульфатов встречаются реже, чем по грунтовым водам;

г) воды нерасчлененного карбона аналогично грунтовым водам преимущественно перенасыщены кальцитом. Однако их перенасыщение кальцитом наблюдается при минерализации свыше 0,3 г/дм³,

тогда как в грунтовых водах перенасыщение кальцитом часто проявляется при минерализации свыше $0,5 \text{ г/дм}^3$, что объясняется большей подверженностью грунтовых вод инфильтрационному питанию.

Воды нерасчлененного карбона, как и грунтовые при минерализации менее $1,0 \text{ г/дм}^3$, преимущественно недонасыщены по гипсу с минимальными индексами недонасыщения от $-2,0$ до $-1,0$. Однако в водах нерасчлененного карбона степень недонасыщения гипсом несколько выше, чем в грунтовых водах, что объясняется большим загрязнением грунтовых вод сульфатом.

Воды каменноугольных отложений в целом недонасыщены по гипсу до $-3,2$, грунтовые — до $-3,0$; первые недонасыщены до $-1,6$ и до $-2,4$ соответственно в 25% проб и в 15%, в то время как недонасыщение по гипсу грунтовых вод до тех же величин имеет место в 4,5% проб и в 2% проб. Это также указывает на большее загрязнение грунтовых вод по сравнению с водами каменноугольных отложений.

Подземные воды каменноугольных отложений характеризуются меньшими P_{CO_2} по сравнению с подземными грунтовыми водами вследствие поступления в последние биогенной углекислоты из почвенного слоя, обогащенного органическими веществами. В то же время перенасыщение подземных вод каменноугольных отложений по карбонату кальция наступает уже при минерализации менее $0,3 \text{ г/дм}^3$, а грунтовых вод — при минерализации около $0,5 \text{ г/дм}^3$. Это объясняется, по-видимому, также меньшими величинами растворимости карбонатов кальция и магния в условиях повышенных температур карбона.

Содержание азотных соединений в водах водоносных горизонтов карбона в основном соответствует диапазону от $0,005$ до 10 мг/дм^3 и более.

Максимальные концентрации NH_4^+ в водах всех водоносных горизонтов карбона $5,0 \text{ мг/дм}^3$ и более; NO_2^- — $1,0 \text{ мг/дм}^3$; NO_3^- — 10 мг/дм^3 и более; минимальные концентрации NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- $< 0,005 \text{ мг/дм}^3$.

Минимальные содержания азотных соединений в водах водоносных комплексов карбона однозначны, но чаще встречаются по NO_2^- ; максимальные — более свойственны NO_3^- . Это свидетельствует об одновременности протекания в подземных водах карбона процессов образования аммонийных соединений и их окисления и, в целом, о близких условиях формирования азотных соединений в гидросфере карбона.

В пределах территории г. Москвы выделяются на отдельных участках: а) атмосферные осадки, грунтовые воды и воды карбона с довольно распространенным соотношением $\text{NH}_4^+ \approx \text{NO}_3^-$ вследствие обогащения «органикой» и углеводородами; б) атмосферные осадки, грунтовые воды, воды горизонтов карбона с соотношением $\text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^-$, распространенные в районах с окислительными условиями; в) поверхностные воды со значительным превышением NO_3^- над NH_4^+ , отличающиеся от других сред гидросферы высокими окислительными условиями;

Все водные среды в целом характеризуются высокими концентрациями азотных соединений (табл. 3.25).

Таблица 3.25

**Распределение микрокомпонентов
в атомогидролитосферных средах г. Москвы (мг/дм³)**

Объект	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	Sr	F	Mn	ΣM , г/дм ³
Атмосферные осадки							
	0,4–14,2		0,4–14,9	<0,1	<0,1	<0,01	0,01–0,2
Речные воды							
р. Москва, город	0,2–1,2	0,05–0,1	7–11	0,5	0,2–0,4	0,08–0,12	0,1–0,5 и более
р. Москва южнее города	0,01–0,2	0,02–0,75	0,3–28,8	>0,5	0,5 и более	до 1,0 и более	0,3–0,5 и более
р. Яуза	0,7	0,1	6,5	0,7	0,35	4,2	
Донные отложения							
р. Москва южнее города	7–15	0,005	>0,3	>1,0	≈0,5	до 3,0 и более	до 0,94
Грунтовые воды							
г. Москва	до 10,0 и более	0,05–0,1	до 10,0 и более	0,2–3,7 и более	0,01–1,4 и более	0,001–0,2 и более	≈0,5–8 и более
Подземные воды карбона							
C_3	0,1–5,0	<0,005–5,0	0,1–5,0	0,5–5,6	0,12–2,0	0,002–0,45	≈0,3–1,24 и более
C_2	0,1–5,0	<0,005–1,0	0,1–10	0,5–16,5	0,06–7,33	0,002–0,83	≈0,5–1,5 и более
C_1	0,1–5,0	–	0,1–10	1,1–20,1	0,87–4,05	0,002–0,57	≈0,6–1,0 и более

Приведенные выше положения свидетельствуют:

а) о единстве источников формирования азотных соединений в атмосферных осадках, грунтовых водах и, в меньшей степени, в поверхностных водах и подземных водах карбона;

б) об органическом веществе как наиболее значимом источнике азотных соединений в водных средах;

г) о существенной роли в формировании азотных соединений в подземных водах карбона атмосферных осадков, грунтовых вод, а также поверхностных вод, обогащенных органическими веществами, поступающими в них техногенным путем.

Микрокомпоненты, представленные Sr, F, Mn, имеющими различные геохимические свойства, также дают возможность составить следующие представления о распределении микрокомпонентов на территории г. Москвы в атмогидролитосфере верхней гидрогеодинамической зоны, включая подземные воды карбона:

1) в связи с их минеральной природой они в подземных водах формируются за счет пород;

2) повышенные концентрации Sr, F, Mn, Fe в породах миграционных систем обуславливают существенное их содержание в подземных водах горизонтов карбона и меньшее — в атмосферных осадках, поверхностных водах, донных осадках, грунтовых водах;

3) отличия концентраций Sr, F, Mn в подземных водах карбона от грунтовых вод (в последних они, особенно Sr, уменьшены) обуславливаются обогащением пород минералами стронция, фтора и марганца. Близкие концентрации Mn, Fe в грунтовых водах карбона, по-видимому, объясняются окислительно-восстановительными условиями. Эти условия вследствие загрязнения «органикой» и углеводородами близки к восстановительным, обуславливающим формирование органо-минеральных комплексов, обладающих высокими миграционными свойствами.

Породы и газы в качестве источников химического состава подземных вод горизонтов карбона входят в широко распространенные миграционные системы «подземная вода — порода — газ» и «подземная вода — порода». Обе системы имеют место в природных и техногенных условиях.

В природных условиях породы обуславливают формирование в водах гидрокарбоната, сульфата, хлорида и трех главных катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+).

Углерод для построения гидрокарбоната присутствует в породах в составе карбонатных минералов (кальцита, доломита и др.); сера для построения сульфата — в форме сульфидов металлов; хлор — в форме водорастворимых хлоридов натрия и др. Дополняют минералы пород газы: углекислый биогенного генезиса, доводящий концентрацию CO_2 в водах до кондиций, необходимых для протекания углекислотных процессов; кислород атмосферы.

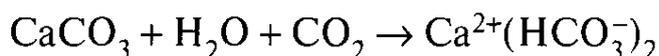
Хлориды содержатся в породах карбона в естественных условиях в незначительных количествах. Также в малых концентрациях в карбонатных породах присутствуют тяжелые металлы.

В больших количествах в породах карбонатных горизонтов содержатся редкие и рассеянные микрокомпоненты, особенно стронций в форме стронцианита (SrCO_3) и целестина (SrSO_4).

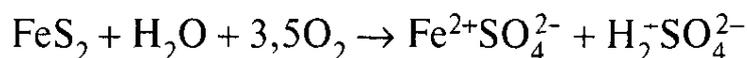
Макрокомпоненты представлены в карбонатных породах преимущественно кальцием (породообразующий минерал известняков — кальцит CaCO_3), в меньшей степени — доломиты $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ и др.

Основные процессы в миграционных системах:

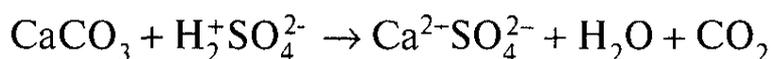
- «подземная вода — карбонатная порода — углекислый газ» — углекислотное выщелачивание:



- «подземная вода — сульфид — кислород» — окисление:



- «карбонатная порода — серная кислота» — сернокислотное выщелачивание:



Питание атмосферными осадками в природных условиях по сравнению с указанными процессами незначительно вследствие малой минерализации атмосферных осадков; питание грунтовыми водами в природных условиях в гидрогеохимическом отношении также слабое.

В техногенных условиях главный процесс формирования химического состава подземных вод горизонтов карбона — их смешение с загрязненными грунтовыми водами. Этот процесс приводит к загрязнению подземных вод карбона, что подтверждается превышением минерализации и концентраций компонентов-загрязнителей в грунтовых водах над водами горизонтов карбона. На участках выхода водоносных горизонтов карбона на дневную поверхность источниками их загрязнения являются загрязненные атмосферные осадки, сточные воды, загрязненные породы и твердые отходы.

В соответствии с компонентами-загрязнителями в подземных водах карбона существенно увеличивается содержание HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , азотных соединений, Sr, Fe, Zn, и др.

В процессах формирования химического состава подземных вод карбона помимо смешения принимают участие процессы, свойственные миграционным системам «загрязненная подземная вода — порода», а также газы.

В первом случае протекают сорбционные процессы, характер и интенсивность которых определяются емкостными свойствами пород и соотношением концентраций компонентов, подверженных сорбционным процессам. В условиях городского загрязнения с широкой представительностью органической составляющей сорбционные процессы чаще всего связаны с аммонием, являющимся наиболее активным в ряду однозарядных катионогенных компонентов.

При наличии в загрязненной подземной воде углекислого газа, образующегося при окислении «органики», интенсифицируется углекислотное выщелачивание пород.

Повышенные минерализации загрязненных подземных вод $>1,0$ г/дм³ при наличии компонентов-катализаторов обуславливают процесс растворения пород растворами с повышенной ионной силой. Миграционная система «карбонатная порода — подземная вода с высоким содержанием хлоридов и натрия» является благоприятной для указанного процесса.

Наличие органических веществ в загрязненных подземных водах способствует развитию процессов комплексообразования с формированием минералорганических соединений, обладающих повышенной миграционной способностью.

Особое значение для физико-химических процессов в водах карбона имеют *Redox*-условия. Окислительно-восстановительные равновесия особенно неустойчивы на территории города в связи с разнообразием техногенных объектов и их отходов. К их действию наиболее чувствительны компоненты с переменной валентностью, азотные соединения, тяжелые металлы.

В окислительных условиях «первичный» аммоний окисляется до слаботоксичного нитрата, имея в качестве промежуточного соединения высокотоксичный нитрит.

Многочисленные тяжелые металлы в окисленной форме обладают низкой растворимостью, вызывающей их осаждение из растворов.

В восстановительных условиях окисленные формы азота восстанавливаются до молекулярного газообразного азота; тяжелые металлы образуют органо-минеральные, устойчивые в воде комплексы.

Возникающие в пределах водоносных горизонтов карбона на территории Москвы процессы являются результатом существенных техногенных нагрузок на состав и качество подземных вод. Гидрогеохимические закономерности проявляются во времени, в пространстве площадного типа и по вертикальному разрезу.

Основные гидрогеохимические закономерности временного характера

1. Возрастание минерализации и концентраций компонентов-загрязнителей, ощутимо фиксирующихся за периоды, исчисляемые первыми десятками лет. Так, по результатам анализа проб вод, отобранных из одноименных скважин горизонтов C_2 и C_1 в районах территории г. Москвы, являющихся областями транзита, за период с 1972 по 2000 г. их минерализация возросла от 19–76 до 135–324 мг/дм³ (табл. 3.26).

Таблица 3.26

Состав подземных вод C_2pd-mc и C_1ok-pr горизонтов на территории г. Москвы, опробованных по одноименным скважинам в 1972 и 2000 гг.

Водоносный горизонт	Скважина	Возрастание ΣM , г/дм ³	1972 г.		2000 г.	
			ΣM , г/дм ³	Компонентный состав	ΣM , г/дм ³	Компонентный состав
C_2pd-mc	200433	0,212	0,532	HCO ₃ SO ₄ CaMgпNa	0,744	HCO ₃ ClпSO ₄ CaMgпNa
	200110	0,135	0,680	HCO ₃ SO ₄ пClMgNaCa	0,815	HCO ₃ ClпSO ₄ CaNaпMg
C_1ok-pr	200452	0,324	0,430	SO ₄ HCO ₃ MgNaCa	0,754	HCO ₃ SO ₄ пClCaMgNa
	200393	0,19	0,504	SO ₄ HCO ₃ CaMgNa	0,523	SO ₄ HCO ₃ CaMgNa
	200440	0,76	0,558	HCO ₃ SO ₄ MgCaNa	0,634	HCO ₃ SO ₄ пClMgCaNa

Изменение минерализации подземных вод во времени неравномерное. На примере рис. 3.15 и 3.17 видно, что выделяются периоды от нескольких до 10 и более лет, характеризующиеся уменьшением или увеличением минерализации относительно многолетней средней ее величины.

2. Из компонентов-загрязнителей наибольшее возрастание концентраций отмечается по хлорид-иону, имеющему наименьшее околоприродное фоновое значение из всех компонентов-загрязнителей анионов, которое заключается в выходе хлоридов с увеличением минерализации на место перед сульфатами и гидрокарбонатами, судя по данным табл. 3.27.

3. В водах карбона околоприродного фона, как и в грунтовых водах с минерализацией менее 1,0 г/дм³, содержание хлоридов, как правило, ниже 5 экв.%. Выше 10 экв.%. оно достигает при минерализации около 1,0 г/дм³ (см. табл. 3.27). Это позволяет по эквивалент-процентному содержанию хлоридов в водах карбона установить состояние их загрязнения.

4. Подземные воды карбона с минерализацией до 0,5–0,6 г/дм³ имеют устойчивый гидрокарбонатно-сульфатный состав. Воды с ми-

**Изменение минерализации подземных вод близкого
 компонентного состава по данным 1972 и 2000 гг.**

$C_{3,ksm}$		$C_{2,pd-mc}$			
2000 г.		1972 г.		2000 г.	
$\Sigma M, \text{г/дм}^3$	Компоненты	$\Sigma M, \text{г/дм}^3$	Компоненты	$\Sigma M, \text{г/дм}^3$	Компоненты
До 0,26	HCO_3SO_4	До 0,6	HCO_3SO_4	До 0,5	HCO_3SO_4
0,26–0,85	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{пCl}$	0,6–1,0	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{пCl}$	0,5–0,8	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{пCl}$
0,85–1,24	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$	> 1,0	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$	0,8–0,95	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$
> 1,24	$\text{HCO}_3\text{ClSO}_4$			0,95–1,28	$\text{HCO}_3\text{ClSO}_4$
				1,28–1,48	$\text{ClHCO}_3\text{SO}_4$
				> 1,48	$\text{ClSO}_4\text{HCO}_3$
$C_{1,ok-pr}$					
1972 г.			2000 г.		
$\Sigma M, \text{г/дм}^3$	Компоненты		$\Sigma M, \text{г/дм}^3$	Компоненты	
До 0,8	HCO_3SO_4		До 0,65	HCO_3SO_4	
>0,8	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{пCl}$		0,65–1,1	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{пCl}$	
			>1,1	$\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$	

нерализацией более 0,5–0,6 г/дм³ характеризуются относительно неравномерным распределением этих компонентов, обусловливаемым сложностью расположения в пространстве техногенных объектов с отходами разного состава.

5. Стандартное распределение компонентов при увеличении ΣM вод вследствие загрязнения представлено рядом: HCO_3SO_4 ($\Sigma M < 0,5$) → $\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{пCl}$ → $\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$ ($\Sigma M < 1,0$) → $\text{HCO}_3\text{ClSO}_4$ ($\Sigma M > 1,0$) → $\text{ClHCO}_3\text{SO}_4$ → $\text{ClSO}_4\text{HCO}_3$, который в табл. 3.27 наиболее полно охарактеризован по данным водоносного горизонта C_2 за 2000 г.

Содержание хлоридов в околоприродных подземных водах карбона в величинах менее 5 экв.% обусловлено практическим отсутствием его минералов в водосодержащих породах. Стремление хлоридов занять первые места среди компонентов-загрязнителей при увеличении степени загрязнения подземных вод объясняется нарушением карбонатного и сульфатного равновесий вследствие кристаллизации из вод сначала слаборастворимых карбонатных, а затем более растворимых сульфатных минералов. Хлорид-ион как геохимически нейтральный компонент, образующий твердые минералы при очень большой минерализации, накапливается в водах.

В водах с минерализацией более 8–10 г/дм³ в результате процессов кристаллизации сульфатов кальция формируются загрязненные воды (I на состава (концентрации HCO₃⁻ и SO₄²⁻ менее 5 экв.%) (см. рис. 3.2).

6. Величины загрязнения, рассчитанные по минерализации вод, приуроченных к нерасчлененному карбону, и их соотношению с минерализацией вод водоносных горизонтов карбона околоприродного фону, во временном отношении неравномерны (табл. 3.28).

Таблица 3.28

**Величины загрязнения подземных вод карбона,
 рассчитанных по отношению к гидрогеохимическому фону
 (по данным минерализации, г/дм³)**

Показатель	Нерасчлененный карбон		C ₃		C ₂		C ₁				
	1980-е гг.		2000 г.		1972 г.		2000 г.		1972 г.		2000 г.
Загрязнение	0,9	1,0	0,85	1,24	0,91	1,0	0,8; 0,95; 1,28; 1,48	0,6	0,8	1,1	>1,1
Фоновые	0,3		0,26		0,6		0,6	0,6		0,65	
Величина загрязнения	0,6	0,7	0,59	0,98	0,31	0,4	0,3; 0,78; 0,45; 0,98	0	0,2	0,45	>0,45

Они максимальны в водах нерасчлененного карбона и водоносного горизонта C₃, в 2000 г. сохраняются относительно высокими в водах горизонта C₂ и существенно снижаются в водах горизонта C₁, т.е. максимальное загрязнение вод карбона приурочено к водам, наиболее близким к грунтовому горизонту, и довольно резко снижается в слабо затронутых загрязнением водах нижнего карбона; они фиксируются как существенно загрязненные в горизонте C₂ по данным 1972 г. по сравнению с водами горизонта C₁. Отмечается также большее загрязнение вод горизонта C₂ в 2000 г. по сравнению с 1972 г. и близкие величины загрязнения в водах горизонта C₁.

Загрязненные воды горизонта C₃, достигающие минерализации более 0,85 г/дм³, сосредоточены в пределах долины р. Москвы, особенно на участке впадения р. Яузы. Загрязнение вод касимовского водоносного горизонта на остальной территории его распространения, по-видимому, носит, подобно загрязнению грунтовых вод, региональный характер и обусловлено нисходящим перетеканием в него загрязненных грунтовых вод.

Сравнительный анализ величин загрязнения вод грунтового горизонта с водами горизонтов карбона привел к результатам, свиде-

тельствующим о большем загрязнении вод грунтового горизонта по сравнению с водами карбона (табл. 3.29).

Таблица 3.29

**Ориентировочная оценка загрязнения подземных вод
 грунтового водоносного горизонта и горизонтов карбона
 по показателю минерализации**

ΣМ, г/дм ³	Грунтовые воды	Воды карбона 2000 г.		
		C ₃	C ₂	C ₁
Близкая к фоновым	0,5	Менее 0,3	Менее 0,5	0,65
При Cl ⁻ 5–10 экв.%	0,5–1,0	0,3–0,5	0,5–0,8	0,65–1,1
Максимальная	10,0 и более	1,24	1,48	1,1
Ориентировочное загрязнение вод по сравнению с фоновым, г/дм ³				
При Cl ⁻ 5–10 экв.%	До 0,05	0,2	0,3	0,35
При максимальной минерализации	До 9,5 и более	0,94	0,98	0,35

Влияние загрязненных грунтовых вод на химический состав вод карбона ослабевает на границе между водоносными горизонтами C₂ и C₁. Это подтверждается: а) существенно меньшими минерализацией и концентрациями компонентов-загрязнителей, особенно хлоридов, в водах горизонта C₁ по сравнению с C₂, C₃ и грунтовыми водами; б) очень слабым изменением состава подземных вод C₁ за период 1972–2000 гг. по сравнению с водами C₂; в) повышенным относительно других катионов содержанием в водах C₁ магния, что объясняется особенностями минералогического состава карбонатных пород C₁, обогащенных доломитами; г) существенным сокращением в водоносном горизонте C₁ площадей с водами, минерализация которых около 1,0 г/дм³.

Основные факторы, значительно влияющие на формирование химического состава подземных вод в природных и природно-техногенных обстановках территории г. Москвы.

1. Особенности геолого-гидрогеологических условий верхней гидродинамической зоны территорий городов, в том числе г. Москвы, определяющих возможность систематизировать формирование состава и качества вод карбона и включающих литолого-минералогические свойства водовмещающих пород и положения областей инфильтрационного питания, транзита, разгрузки.

2. Широкое распространение неоднозначно действующих на состав и качество подземных вод карбона техногенных нагрузок.

3. Наличие в разрезе предпосылок, определяющих интенсивное питание вод карбона загрязненными атмосферными осадками, за-

грязненными грунтовыми водами, реже — непосредственно жидкими, твердыми и газообразными отходами производств разного профиля и коммунально-бытовых загрязнений и представленных литологическими окнами по юрским глинам и др.

4. Наличие региональных и локальных источников загрязнения. Территориальные изменения в составе вод в первом случае подчиняются одному из ведущих законов гидрогеохимии, заключающемуся в повышении минерализации подземных вод (несмотря на разнонаправленность физико-химических процессов в действующих миграционных системах) в направлении фильтрационных потоков. В случае локальных источников загрязнения, как правило, формируются две гидрогеодинамико-гидрогеохимические области: а) внутренняя, ограничиваемая участками техногенного питания (часто в форме куполов подтопления) и характеризующаяся процессами смешения подземных вод с инфильтрирующимися из областей питания загрязнителями; существенной гидрогеохимической неоднородностью и итоговым составом смесей, отличающихся от природного фона повышенной или пониженной минерализацией, зависящей от минерализаций смешиваемых растворов; б) внешняя, характеризующаяся распространением смесей из внутренней области техногенными потоками, минерализация вод которых изменяется под влиянием стремления к природным фоновым гидрогеохимическим условиям.

5. Водоотбор, определяющий возникновение техногенных фильтрационных потоков, меняющихся во времени по интенсивности и территориальной направленности и влияющих на химический состав и качество подземных вод карбона.

6. Поступление в водоносные горизонты карбона органических загрязнителей, которые определяют восстановительные условия, приводящие одни компоненты к повышению миграционных способностей, например тяжелых металлов; другие — к накоплению в водах токсичных форм, например NH_4^+ ; третьи — к образованию газообразных форм, удаляющихся из загрязнителей, и т.д.

4. ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЯ ГОРОДОВ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

4.1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

На территории Калужской области распределение техногенной нагрузки на подземные воды неравнозначное (рис. 4.1, табл. 4.1).



Рис. 4.1. Распределение техногенной нагрузки на подземные воды Калужской области

К основным нагрузкам регионального характера относятся следующие виды антропогенного воздействия на подземные воды: а) посевное сельское хозяйство; б) животноводство; в) промышленность; г) торфоразработки.

Антропогенные нагрузки локального характера представлены: а) чугунолитейной, механической промышленностью, приборостроением; б) целлюлозно-бумажным, мебельным производством, льнообработкой; в) стекольным, цементным, керамическим производством и др.

В отдельную категорию выделяются нагрузки городского типа, являющиеся неотъемлемыми для практически любого населенного пункта: а) коммунально-бытовые отходы, свалки, стоки; б) отходы пищевой промышленности; в) автозаправочные станции, нефтебазы, автотранспорт.

Самые общие выводы, следующие из рассмотрения карты-схемы.

1. Территория Калужской области подразделяется на группы административных районов, характеризующихся сосредоточением определенных видов техногенной нагрузки. Наиболее широко распространено воздействие на подземные воды посевного сельского хозяйства, приуроченного преимущественно к юго-восточным и восточным районам, и животноводства, развитого в значительной степени в северных и северо-восточных районах.

2. Промышленность развита наиболее существенно в центральных и отдельных северных районах территории; кроме того, производства промышленной отрасли присутствуют во многих крупных городах области. Практически всюду имеет место пищевая

**Объяснения к карте-схеме (рис. 4.1)
 «Распределение техногенной нагрузки на подземные воды
 в Калужской области»**

Техногенная нагрузка регионального характера	Техногенная характеристика локального характера		
	Район. Вид нагрузки	Город и его условный номер на карте-схеме	Характеристика нагрузки на городских территориях
Посевное сельское хозяйство	Барятинский 1	Барятино 1	Целлюлозно-бумажная, мебельная, льнопереработка 6
	Козельский 1	Демовка 2 Калинино 3	Чугунолитейная, механическая, приборостроение и др. 5
	Куйбышевский 1	Бетлица 4	Городского типа 8, 9
	Тарусский 1	Таруса 5	Городского типа 8, 9
	Ульяновский 1	Ульяново 6 Дудорово 7	Городского типа 8, 9
	Хвастовичский 1	Еленский 8 Теребень 9	Городского типа 8, 9
Животноводство	Жиздринский 2	Жиздра 10 Судамир 11	Городского типа 8, 9
	Жуковский 2	Жуково 12 Высокиничи 13 Тарутино 14 Белоусово 15	Целлюлозно-бумажная, мебельная, городского типа (пищевая промышленность) 6, 8, 9
	Малоярославецкий 2	Малоярославец 16 Михеево 17 Детгино 18 Недельное 19 Юбилейный 20 Афанасьеве 21 Максимово 22	Городского типа (пищевая промышленность) 8, 9
	Мешовский 2	Мешовск 23 Кудринская 24 Серпейск 25	Городского типа (пищевая промышленность) 8, 9
	Перемышльский 2	Перемышль 26 Корекозово 27 Покровское 28 Горки 29	Городского типа (пищевая промышленность)
	Юхновский 2	Юхнов 30 Беляево 31 Рыляки 32	Целлюлозно-бумажная и др. 6
Торфоразработки	Спас-Деменский 4	Спас-Деменск 68 Чипляево 69	Городского типа (пищевая промышленность) 8, 9
	Мосальский 4	Мосальск 70	Городского типа (пищевая промышленность) 8,9

Техногенная нагрузка регионального характера	Техногенная характеристика локального характера		
	Район. Вид нагрузки	Город и его условный номер на карте-схеме	Характеристика нагрузки на городских территориях
Промышленность	Боровский 3	Боровск 33 Обнинск 34 Ворсино 35 Балабаново 36	Чугунолитейная, механическая, приборостроение; целлюлозно-бумажная, мебельная, льнопереработки 5, 6
	Бабынинский 3	Бабынино 37 Куракино 38 Воротинск 39	Чугунолитейная, механическая, приборостроение 5
	Дзержинский 3	Кондрово 40 Редькино 41 Карцево 42 Старки 43 Дворы 44 п. Л. Толстого 45 Товарково 46 Полотняный завод 47 Острожное 48 Куровской 49	Стекольная, цементная, керамическая и др.; городского типа (пищевая промышленность) 7, 8, 9
	Думиничский 3	Думиничи 50 Чернышево 51	Чугунолитейная, механическая, приборостроение 5
	Калужский 3	Калуга 52 Колюпаново 53 Карачево 54 Ястребовка 55	Чугунолитейная, механическая, приборостроение 5
	Кировский 3	Киров 56	Стекольная, цементная, керамическая 7
	Медыньский 3	Медынь 57 Никитское 58 Михеево 59 Домино 60 Мятлево 61	Чугунолитейная, механическая, приборостроение; целлюлозно-бумажная, мебельная, льнопереработки 5, 6
	Ферзиковский 3	Ферзиково 64 Дугна 65 Октябрьский 66	Городского типа 8, 9
	Сухиничский 3	Сухиничи 67	Городского типа (пищевая промышленность) 8, 9

промышленность, работают бензозаправочные станции, и на западе территории размещено газохранилище.

3. Лидирующее место среди компонентов-загрязнителей занимают твердые отходы практически всех производств, животноводческих комплексов, посевного сельского хозяйства, коммунально-бытовых комплексов.

Особое место среди загрязнителей занимает атмосфера с ее кислыми атмосферными осадками и сухими выпадениями.

4.2. ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЯ ТЕРРИТОРИИ г. КАЛУГИ И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ

Рассматривается упинский водоносный горизонт.

В основу рассмотрения эколого-гидрогеохимического состояния территории г. Калуги и его окрестностей положены сведения, полученные при полевых исследованиях кафедры гидрогеологии МГУ, проведенных в 2005 г.

В задачи полевых исследований входило:

1) установление природного гидрогеохимического фона;
2) уточнение состава компонентов-загрязнителей и их группировка на компоненты глобального, регионального и локального пространства;

3) систематизация компонентов-загрязнителей: а) по приуроченности к видам техногенной нагрузки — промышленным, сельскохозяйственным и коммунально-бытовым объектам; б) исходя из их фазового состояния; в) по условиям развития техногенеза;

4) градация состава сточных вод;

5) определение характера взаимосвязи водоносных горизонтов карбона с грунтовым водоносным горизонтом и с поверхностными водами, а также влияния на воды карбона минерализованных, более глубоко залегающих подземных вод;

б) оценка возможности использования при мониторинговых работах газообразных сорбированных углеводородов в качестве эффективных индикаторов загрязнения подземных и поверхностных вод, почв, атмосферы.

Опробовались:

- подземные и поверхностные воды;
- сточные воды;
- породы приповерхностного слоя на глубинах 0,5–0,7 м, наиболее подверженные техногенному влиянию;

Участки опробования:

- 1) расположение объектов: а) пищевой, бумажной, стекольной промышленности; б) ТЭЦ; в) металлургической промышленности;
- 2) размещение: а) нефтебаз; б) полигона хранилища газа; в) разработки торфяников;
- 3) створы водозаборов;
- 4) зоны распространения подземных и поверхностных вод на территориях, наименее подверженных техногенному влиянию;
- 5) места интенсивного проявления сточных вод.

Отбор водных проб и пород проводился одновременно в каждом предусмотренном программой пункте.

Лабораторные определения подземных, поверхностных, сточных вод:

- а) на HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Fe^{2+} , pH, Eh — стандартными методами;
- б) Si, Sr, F, Mn, Al, Ba, B, Li, P и др., — полуколичественным спектральным методом;
- в) сорбированные углеводородные газы группы метана — методом газовой хроматографии; воды — посредством предварительного получения сухого остатка при температуре $+80^\circ\text{C}$.

4.2.1. Оценка литологического состава пород зоны аэрации территории г. Калуги и его окрестностей по данным гранулометрического анализа

Исследованным породам (табл. 4.2) присвоено наименование литологического состава (табл. 4.3) на основании сравнения их гранулометрического состава с классификацией песчаных грунтов Е.М. Сергеева.

Породы сгруппированы в категории. Одну из них составляют пески средней зернистости с разной степенью однородности, которые представлены фракциями от более 1,0 до 0,1 мм включительно. Другая категория проб условно отнесена к песчаным пылеватым разностям с преобладающими фракциями от 0,5–0,25 до 1 мм включительно. К третьей категории отнесен песок глинистый, характеризующийся фракциями от 0,25 до 0,1 мм включительно (см. табл. 4.3).

Породы первой категории сосредоточены в приречных районах р. Оки и р. Киевки; второй и третьей категорий — в долине р. Яченки и в районе Яченского водохранилища.

Гранулометрический состав пород

Проба №	Пробы породы						
	Адрес отбора пробы	Вес, г	Фракции, мм	Вес фракции с бумагой, г	Вес фракции без бумаги, г	Сумма весов всех фракций, г	Весовой % фракции
1	Скв. 2 (ж/д) Ю. водозабор	100,91	>1	17,10	12,14	99,42	12,03
			1-0,5	9,35	4,39		4,35
			0,5-0,25	17,58	12,62		12,51
			0,25-0,1	61,18	56,22		55,71
			<0,1	19,01	14,05		13,92
2	Скв. 3 (ж/д) Ю. водозабор	127,71	>1	6,19	1,23	124,77	0,96
			1-0,5	12,42	7,46		5,84
			0,5-0,25	43,43	38,47		30,12
			0,25-0,1	75,28	70,32		55,06
			<0,1	12,25	7,29		5,71
3	Скв. 17 Ю. водозабор	66,70	>1	17,74	12,78	66,55	19,16
			1-0,5	14,92	9,96		14,93
			0,5-0,25	18,97	14,01		21,00
			0,25-0,1	26,86	21,90		32,83
			<0,1	12,86	7,90		11,84
4	Скв. 21 (Бор) Ю. водозабор	83,00	>1	11,56	6,60	81,71	7,95
			1-0,5	15,81	10,85		13,07
			0,5-0,25	24,34	19,38		23,35
			0,25-0,1	41,09	36,13		43,53
			<0,1	13,71	8,75		10,54
5	Скв. 23 (Бор) Ю. Водозабор	98,80	>1	14,42	9,46	96,90	9,57
			1-0,5	17,99	13,03		13,19
			0,5-0,25	28,48	23,52		23,81
			0,25-0,1	32,25	27,29		27,62
			<0,1	28,56	23,60		23,89
6	Скв. 2 ПХГ	157,6	>1	25,86	20,90	164,77	13,26
			1-0,5	83,65	78,69		49,93
			0,5-0,25	14,98	10,02		6,36
			0,25-0,1	40,62	35,66		22,63
			<0,1	24,46	19,50		12,37
7	Скв. 4 ПХГ	156,4	>1	14,61	9,65	155,32	6,17
			1-0,5	21,07	16,11		10,30
			0,5-0,25	52,45	47,49		30,36
			0,25-0,1	77,71	72,75		46,52
			<0,1	14,28	9,32		5,96

Проба №	Пробы породы						
	Адрес отбора пробы	Вес, г	Фракции, мм	Вес фракции с бумагой, г	Вес фракции без бумаги, г	Сумма весов всех фракций, г	Весовой % фракции
8	Скв. 5 З-д «Турбинный»	146,50	>1	22,72	17,76	145,61	12,12
			1-0,5	20,38	15,42		10,53
			0,5-0,25	26,55	21,59		14,74
			0,25-0,1	85,30	80,34		54,84
			<0,1	15,46	10,50		7,17
9	Скв. 1 ПТФ	80,8	>1	16,65	11,69	79,49	14,47
			1-0,5	12,10	7,14		8,84
			0,5-0,25	26,78	21,82		27,00
			0,25-0,1	31,93	26,97		33,38
			<0,1	16,83	11,87		14,69
11	Скв. 1678 З-д «Гигант»	108,5	>1	28,15	23,19	107,47	21,37
			1-0,5	21,27	16,31		15,03
			0,5-0,25	37,89	32,93		30,35
			0,25-0,1	36,09	31,13		28,69
			<0,1	8,87	3,91		3,60
12	Скв. 5384 Нефтебаза	74,52	>1	22,90	17,94	74,04	24,07
13	Скв. 1 З-д «Тара и упаковка»	74,4	>1	21,31	16,35	74,83	21,98
			1-0,5	11,97	7,01		9,42
			0,5-0,25	14,43	9,47		12,73
			0,25-0,1	19,44	14,48		19,46
			<0,1	32,48	27,52		36,99
14	Скв. 1, узел 1 С. водозабор	72,5	>1	14,90	9,94	74,53	13,71
			1-0,5	11,30	6,34		8,74
			0,5-0,25	19,64	14,68		20,25
			0,25-0,1	36,55	31,59		43,57
			<0,1	16,94	11,98		16,52
14а	Скв. 7, узел 3 С. водозабор	80,1	>1	17,75	12,79	79,76	15,97
			1-0,5	10,92	5,96		7,44
			0,5-0,25	12,52	7,56		9,44
			0,25-0,1	40,49	35,53		44,36
			<0,1	22,88	17,92		22,37
15	Азаровский кирп. з-д (болото), поверхн. воды	90,10	>1	30,04	25,08	88,98	27,84
			1-0,5	14,54	9,58		10,63
			0,5-0,25	16,53	11,57		12,84
			0,25-0,1	33,11	28,15		31,24
			<0,1	19,56	14,60		16,20

Проба №	Пробы породы						
	Адрес отбора пробы	Вес, г	Фракции, мм	Вес фракции с бумагой, г	Вес фракции без бумаги, г	Сумма весов всех фракций, г	Весовой % фракции
16	Хоз.-быт. стоки, ул. Болдина, д. 47	111,70	>1	40,53	35,57	111,06	31,84
			1-0,5	22,63	17,67		15,82
			0,5-0,25	28,45	23,49		21,03
			0,25-0,1	21,86	16,90		15,13
			<0,1	22,39	17,43		15,60
19	Скв. 1 (ж/д) Ю. водозабор	86,90	>1	14,68	9,72	84,65	11,19
			1-0,5	8,21	3,25		3,74
			0,5-0,25	13,01	8,05		9,26
			0,25-0,1	54,57	49,61		57,09
			<0,1	18,98	14,02		16,13

Таблица 4.3

Группировка проб пород по литологическому составу по данным гранулометрического анализа

Литологическая характеристика		Фракции, мм				
		>1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	<0,1
		Номера проб с гранулометрической характеристикой				
Песок среднезернистый	Песок среднезернистый, однородный	16	16	16		
	Песок среднезернистый, неоднородный	3, 11, 13, 15		3, 11, 13, 15	3, 11, 13, 15	
	Песок среднезернистый, неоднородный		6, 12		6, 12	
Песок пылеватый	Песок пылеватый, однородный			2, 4, 7, 8	2, 4, 7, 8	
	Песок пылеватый, однородный			1, 5, 14, 9	1, 5, 14, 9	1, 5, 14, 9
Песок глинистый	Песок пылеватый, глинистый, однородный				14а, 19	14а, 19

4.2.2. Процессы в зоне аэрации

По результатам силикатного анализа главным породообразующим компонентом литосферы в пределах зоны аэрации Калужской области является кремний, пределы содержания которого 80,45–94,73 вес.% (табл. 4.4).

Макрокатионы в пересчете на оксиды образуют ряд $K_2O > Na_2O > MgO > CaO$. Превышение доли магния над кальцием объясняется, по-видимому, большей по сравнению с кальцием его связью с фосфором, о чем свидетельствует идентичное распределение концентраций магния и фосфата в породах проанализированных проб (см. табл. 4.4).

Карбонатная часть пород, определяемая потерей при прокаливании, составляет от 0,48 до 3,74 вес.%. Большое содержание карбонатных минералов, по данным ППП (2,44–3,74 вес.%), приходится на пробы, в которых понижено содержание кремния (80,45–88,02 вес.%).

Существенная особенность в составе рассматриваемых пород представлена повышенным содержанием в породах проб органических веществ.

Это пробы № 8, 11, 19, отобранные в районах заводов «Турбинный», «Гигант» и на территории южного водозабора на участке скв. 1 (см. табл. 4.4). Подтверждениями этой особенности являются: а) повышение величины потерь при прокаливании; б) существенно повышенное содержание в породах алюминия (Al_2O_3), что, по-видимому, связано с его сорбцией «органикой» и вхождением в состав органо-минеральных комплексов; в) повышенные содержания органогенных К, Р, Са, Mg; 2) пониженное по сравнению с Fe^{3+} содержание двухвалентного закисного железа, которое уходит из пород в восстановительных (создаваемых «органикой») условиях в водные растворы (в данном случае — в атмосферные осадки и сточные воды) в форме хорошо мигрирующих органо-минеральных соединений.

Наблюдается близкая связь валового состава пород с его гранулометрическим составом (см. табл. 4.3. и 4.4).

Выделяются две группы пород:

1) песок среднезернистый, характеризующийся относительно повышенным содержанием кремния и пониженным содержанием всех показателей органогенности;

2) песок пылеватый, а также пылеватый и глинистый, характеризующийся пониженным содержанием кремния и повышенным содержанием всех органогенных компонентов.

**Результаты (в пересчете на оксиды) силикатного анализа пород
зоны аэрации территории г. Калуги**

Адрес	Проба №	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	ППП	Σ
Скв. 2 Ю. водозабор	1	91,60	1,60	0,32	0,97	0,18	0,04	н.о.	0,13	0,02	0,68	1,92	0,22	1,70	99,38
Скв. 3 Ю. водозабор	2	94,73	2,07	0,2	0,29	0,08	0,03	н.о.	0,38	0,01	0,74	1,38	н.о.	0,48	100,48
Скв. 23 Ю. водозабор	5	93,17	1,00	0,28	0,88	0,10	0,06	0,35	н.о.	0,03	0,61	1,62	0,16	1,78	100,04
Скв. 2 ПХГ	6	92,62	1,77	0,19	0,60	0,09	0,04	0,18	0,13	0,01	1,01	2,28	0,02	1,26	99,93
Скв. 4 ПХГ	7	91,62	2,01	0,21	0,34	0,11	0,04	0,18	0,13	0,02	0,88	2,28	0,04	0,98	98,84
З-д «Турбинный»	8	81,03	6,35	0,42	2,36	0,49	0,07	0,35	1,26	0,04	0,94	3,24	0,98	3,30	100,83
З-д «Гигант»	11	80,45	6,84	0,29	1,87	0,34	0,10	0,88	0,50	0,04	0,61	2,82	1,18	3,74	99,66
Скв. 1 Ю. водозабор	19	88,02	2,65	0,28	1,57	0,24	0,08	0,35	0,25	0,02	0,81	2,22	0,38	2,44	99,31

н.о. — не обнаружено.

По данным водных вытяжек (табл. 4.5) минерализация, сложенная водорастворимыми компонентами, имеет диапазон 35,5–217,6 мг/дм³. Преобладающим компонентом является гидрокарбонат; в повышенных концентрациях практически во всех пробах присутствует хлорид; в некоторых пробах хлорид заменяется на NO₃⁻; в районе хозяйственно-бытовых отходов наряду с HCO₃⁻ значительно представлен SO₄²⁻. Главным катионогенным компонентом является Ca²⁺; за ним следует Na⁺; Mg²⁺ представлен в минимальных концентрациях; NH₄⁺ и NO₃⁻ — в следовых. Сульфаты содержатся в породах в концентрациях 2–3 мг/дм³, что составляет 2–4% от минерализации. Несколько (6–14 мг/дм³) повышено содержание сульфатов в породах участков болот, заводов «Турбинный» и «Гигант»; существенно оно повышено в породах участка хозяйственно-бытовых отходов.

Окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия изменяются, мВ: первые — от 137 до 241,3; вторые — от 6,49 до 8,6. Четко выраженной зависимости между ними не наблюдается. Однако выделяются следующие две группы пород: а) бóльшая — с pH ≥ 8 и Eh < 200 мВ; б) меньшая — с pH ≤ 7 и Eh > 200.

Закономерности распределения компонентов водных вытяжек из пород заключаются (рис. 4.4): а) в возрастании HCO₃⁻, Ca²⁺ по мере повышения минерализации; б) в уменьшении Cl⁻, Na⁺, Mg²⁺ и практически не изменяющегося по концентрации SO₄²⁻ по мере повышения минерализации. Закономерности обусловлены тем, что: 1) HCO₃⁻ и Ca²⁺ являются главными минералообразующими компонентами карбонатной части пород; 2) Cl⁻, Na⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻ вымываются (удаляются) из пород водными растворами (атмосферными осадками, стоками); и чем больше их концентрация, тем выше вероятность выхода из породы.

Характер и распределение солевых форм (табл. 4.6) в водных вытяжках подтверждают и детализируют особенности распределения водорастворимых компонентов в породах:

1) преобладание в их составе солей карбонатов кальция и в целом преимущество карбонатных солевых форм. Некарбонатные формы представлены NaCl, NaNO₃, Na₂SO₄. Минерал CaCO₃ занимает первые места в распределении минеральных и органических солей в пределах пород всех проб;

2) все породы обогащены «органикой», представленной солевой формой NaNO₃, присутствующей во всех пробах пород;

3) незначительное содержание в породах сульфатных солей объясняется восстановительными условиями зоны аэрации. В этих

Состав водорастворимых соединений по результатам анализа водных вытяжек из пород
зоны аэрации района г. Калуги, 2005 г.

Проба №	Адрес Формула состава	Единица измерения	Компоненты										ΣM , мг/дм ³ $\frac{\Sigma An,}{\text{мг-экв/дм}^3}$	pH $\frac{Eh}{Eh}$	
			HCO ₃	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	(Na ⁺ + K ⁺)						
7	Скв. 4 ПХГ $\frac{HCO_3 ClCaNaMg}{}$	мг/дм ³	17,1	2,0	5,0	2,0	4,0	1,46	3,91					$\frac{35,5}{0,49}$	$\frac{1,82}{194,4}$
		мг-экв/дм ³	0,28	0,04	0,14	0,03	0,2	0,12	0,17						
		экв.%	57	8	28	7	41	24	35						
5	Скв. 23 бор Ю. водозабор $\frac{HCO_3 лClNaCaMg}{}$	мг/дм ³	22,0	2,0	2,84	4,5	4,0	1,7	4,8					$\frac{41,8}{0,55}$	$\frac{6,49}{232,7}$
		мг-экв/дм ³	0,36	0,04	0,08	0,07	0,2	0,14	0,21						
		экв.%	65	7	15	13	36	26	38						
2	Скв. 3 Ю. водозабор $\frac{HCO_3 лClCaNaMg}{}$	мг/дм ³	26,8	2	3,55	1	4,8	2,67	3,2					$\frac{44}{0,6}$	$\frac{7,89}{193,3}$
		мг-экв/дм ³	0,44	0,04	0,1	0,02	0,24	0,22	0,14						
		экв.%	73	6	17	4	40	37	23						
1	Скв. 2 Ю. водозабор $\frac{HCO_3 лClлNO_3 CaNaMg}{}$	мг/дм ³	26,8	2	3,55	4	4,8	2,2	5					$\frac{48,4}{0,64}$	$\frac{6,75}{226,5}$
		мг-экв/дм ³	0,44	0,04	0,1	0,06	0,24	0,18	0,22						
		экв.%	69	6	16	9	38	28	34						
6	Скв. 2 ПХГ $\frac{HCO_3 ClCaNaMg}{}$	мг/дм ³	39	2,0	8,52	2,5	10	2,43	6					$\frac{70,4}{0,96}$	$\frac{8,51}{158,3}$
		мг-экв/дм ³	0,64	0,04	0,24	0,04	0,5	0,2	0,26						
		экв.%	67	4	25	4	52	21	27						
4	Скв. 21 бор Ю. водозабор $\frac{HCO_3 лClCaлNaлMg}{}$	мг/дм ³	43,9	2,0	4,3	4,5	12,4	1,9	3,9					$\frac{72,9}{0,95}$	$\frac{7,9}{163,3}$
		мг-экв/дм ³	0,72	0,04	0,12	0,07	0,62	0,16	0,17						
		экв.%	76	4	13	7	65	17	18						

Продолжение табл. 4.5

Проба №	Адрес Формула состава	Единица измерения	Компоненты							$\Sigma M, \text{мг/дм}^3$	$\frac{\Sigma An, \text{мг-экв/дм}^3}{\text{мг-экв/дм}^3}$	$\frac{pH}{Eh}$
			HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$			
13	Скв. 1 з-д «Тара и улаковка» Ю. водозабор $\text{HCO}_3, \text{пNO}_3, \text{CaNaпMg}$	мг/дм ³	43,9	2	2,84	6,0	10,4	1,46	6,9	$\frac{73,5}{0,94}$	$\frac{6,83}{241,3}$	
		мг-экв/дм ³	0,72	0,04	0,08	0,1	0,52	0,12	0,30			
		экв.%	77	4	8	11	55	13	32			
8	Скв. 5 з-д «Турбинный» $\text{HCO}_3, \text{SO}_4, \text{ClCaNaMg}$	мг/дм ³	34,2	14	7,1	2,5	12,0	2,43	6,67	$\frac{78,9}{1,09}$	$\frac{7,75}{199,0}$	
		мг-экв/дм ³	0,56	0,29	0,20	0,04	12,0	0,6	0,29			
		экв.%	57	27	18	4	55	18	27			
19	Скв. 1 $\text{HCO}_3, \text{пClCaNaMg}$	мг/дм ³	51,2	2	5	6,9	10,4	2,92	8,51	$\frac{86,9}{1,13}$	$\frac{7,89}{155}$	
		мг-экв/дм ³	0,84	0,04	0,14	0,11	0,52	0,24	0,37			
		экв.%	75	3	12		46	21	33			
14	Скв. 1 узел 1 С. водозабор $\text{HCO}_3, \text{CaNaMg}$	мг/дм ³	58,6	2	2,84	6	12,8	2,92	6,9	$\frac{92}{1,18}$	$\frac{8,14}{173}$	
		мг-экв/дм ³	0,96	0,04	0,08	0,1	0,64	0,24	0,3			
		экв.%	81	3	7	9	54	20	26			
12	Скв. 5384 Нефтебаза $\text{HCO}_3, \text{пClпNO}_3, \text{CaNa}$	мг/дм ³	58,6	2	5,68	7,2	16	0,97	9,2	$\frac{99,65}{1,28}$	$\frac{7,32}{180}$	
		мг-экв/дм ³	0,96	0,04	0,16	0,12	0,8	0,08	0,4			
		экв.%	75	3	12	10	63	6	31			
3	Скв. 17 Ю. водозабор $\text{HCO}_3, \text{пClCaпMg}$	мг/дм ³	78,1	2	8,5	2,5	24	3,4	2,8	$\frac{121,3}{1,6}$	$\frac{8,6}{144}$	
		мг-экв/дм ³	1,28	0,04	0,24	0,04	1,2	0,28	0,12			
		экв.%	80	2,5	15	2,5	75	17	8			
14а	Скв. 7 узел 3 С. водозабор $\text{HCO}_3, \text{пNO}_3, \text{CaNaпMg}$	мг/дм ³	87,8	2	3,55	12	21,6	2,92	10,6	$\frac{140,5}{1,78}$	$\frac{8,45}{148}$	
		мг-экв/дм ³	1,44	0,04	0,1	0,2	1,08	0,24	0,46			
		экв.%	81	2	6	11		61	13			

Окончание табл. 4.5

Проба №	Адрес Формула состава	Единица измерения	Компоненты								ΣM , мг/дм ³ $\frac{\Sigma An_i}{\text{мг-экв/дм}^3}$	pH Ен
			HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃	Ca ²⁺	Mg ²⁺	(Na ⁺ + K ⁺)			
15	Болото $\text{HCO}_3\text{,nClNO}_3\text{,CaNa}$	мг/дм ³	78,1	6	13,5	12	20,8	2,43	17,0	1498	7,63	
		мг-экв/дм ³	1,28	0,12	0,38	0,2	1,04	0,2	0,74	1,98	172,3	
		экв.%	65	6	19	10	53	10	37			
11	Скв. 1078 з-д «Гигант» $\text{HCO}_3\text{,nNO}_3\text{,CaNa}$	мг/дм ³	100	2	5,68	12	26,8	2,43	11,5	160,4	8,34	
		мг-экв/дм ³	1,64	0,04	0,16	0,2	1,34	0,2	0,5	2,04	163,5	
		экв.%	80	2	8	10	63	6	31			
16	Хоз.-быт. стоки ул. Болдина, д. 47 $\text{HCO}_3\text{,SO}_4\text{,nClCaNa}$	мг/дм ³	78,1	28,5	8,52	4,5	24,0	1,94	18,86	164,4	8,58	
		мг-экв/дм ³	1,28	0,59	0,4	0,07	1,2	0,16	0,82	2,18	157,3	
		экв.%	59	27	11	3	55	7	38			
9	Скв. 1 ПТФ $\text{HCO}_3\text{,nNO}_3\text{,CaNaMg}$	мг/дм ³	139,1	3,18	5,68	15,9	35,2	4,86	13,8	217,6	8,34	
		мг-экв/дм ³	2,28	0,06	0,16	0,26	1,76	0,4	0,6	2,76	137,8	
		экв.%	83	2	6	9	64	14	22			

Солевой состав водных вытяжек из пород зоны аэрации района г. Калуги
по данным 2005 г.

Проба №	Адрес	ΣM, мг/дм ³	Формула состава	Eh рН	ΣM до 100 мг/дм ³ , загрязнители: C _{орг} > Cl ⁻ > NO ₃ > Na ⁺					
					CaCO ₃ >	MgCO ₃ >	NaCl>	NaNO ₃ >	Na ₂ SO ₄ >	Na ₂ CO ₃
5	Скв. 23 Ю. водозабор	41,8	HCO ₃ пClNaCaMg	$\frac{232,7}{6,49}$	0,20	0,14	0,08	0,07	0,04	0,02
2	Скв. 3 Ю. водозабор	47,0	HCO ₃ пClCaMgNa	$\frac{193,3}{7,89}$	0,24	0,20	0,10	0,06	0,04	0,02
1	Скв. 2 Ю. водозабор	48,4	HCO ₃ пClпNO ₃ CaNaMg	$\frac{226,5}{6,75}$	0,24	0,18	0,10	0,06	0,04	0,02
19	Скв. 1 Ю. водозабор	86,9	HCO ₃ пClCaMgNa	$\frac{155,0}{7,89}$	0,52	0,24	0,14	0,11	0,08	0,04
4	Скв. 21 Ю. водозабор	72,9	HCO ₃ пClCaпNaпMg	$\frac{163,9}{7,90}$	0,62	0,12	0,10	0,06	0,04	0,01
ΣM до 100–200 и более мг/дм ³ , загрязнители: C _{орг} >> NO ₃ > Cl ⁻ > Na ⁺										
Соли										
					CaCO ₃ >	MgCO ₃ >	NaNO ₃ >	NaCl>	Na ₂ CO ₃ >	Na ₂ SO ₄
13	З-д «Тара и упаковка»	73,5	HCO ₃ пNO ₃ CaNaпMg	$\frac{241,3}{6,83}$	0,52	0,12	0,10	0,08	0,08	0,04
14	Скв. 1 С. водозабор	92,0	HCO ₃ CaNaMg	$\frac{173,0}{8,14}$	0,64	0,24	0,10	0,08	0,08	0,04
14а	Скв. 7 С. водозабор	140,5	HCO ₃ пNO ₃ CaNaпMg	$\frac{148,0}{8,43}$	11,08	0,24	0,2	0,1	0,12	0,04
11	Скв. 1878 З-д «Гигант»	160,4	HCO ₃ пNO ₃ CaMg	$\frac{163,5}{8,34}$	1,34	0,2	0,2	0,16	0,10	0,04

Содержание табл. 2.6

9	Скв. 1 Животновод. комплекс	217,6	HCO_3 п NO_3 Ca Na п Mg	$\frac{137,8}{8,34}$	1,76	0,40	0,26	0,16	0,12	0,06
ΣМ неоднородная, мг/дм ³ , загрязнители: $\text{C}_{\text{орг}} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Na}^+$										
Соли										
			$\text{CaCO}_3 >$			$\text{NaCl} >$	$\text{MgCO}_3 >$	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Na}_2\text{SO}_4 >$	NaNO_3
7	Скв. 4 ПХГ	35,5	HCO_3 Cl Ca Na Mg	$\frac{194,4}{7,82}$	0,2	0,14	0,08	-	0,04	0,03
6	Скв. 2 ПХГ	70,4	HCO_3 Cl Ca Na Mg	$\frac{158,3}{8,51}$	0,50	0,24	0,14	0,04	0,02	0,12
12	Скв. 3384 Нефтебаза	99,65	HCO_3 п Cl п NO_3 Ca Na	$\frac{180,0}{7,32}$	0,8	0,16	0,12	0,08	$\text{MgSO}_4 >$	Na_2CO_3
15	Болото	149,8	HCO_3 п Cl п NO_3 Ca Na	$\frac{172,9}{7,63}$	1,04	0,38	0,2	0,2	0,12	0,04
3	Скв. 17 Ю. водозабор	121,3	HCO_3 п Cl Ca п Na п Mg	$\frac{144,0}{8,6}$	$\text{CaCO}_3 >$	$\text{NaCl} >$	MgCl_2	$\text{MgCO}_3 >$	$\text{MgSO}_4 >$	NaNO_3
					1,2	0,12	0,12	0,08	0,04	0,04
ΣМ > 100 мг/дм ³ , загрязнители: $\text{C}_{\text{орг}} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+, \text{NO}_3^-$										
Соли										
			$\text{CaCO}_3 >$			$\text{MgSO}_4 >$	$\text{NaCl} >$	$\text{CaSO}_4 >$	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	Na_2SO_4
8	З-д «Гур- бинный»	78,9	HCO_3 SO_4 п Cl Ca Na п Mg	$\frac{199,0}{7,75}$	0,56	0,20	0,20	0,04	0,04	0,03
16	Хоз.-быт. отходы, ул. Болдина, д. 47	164,4	HCO_3 SO_4 п Cl Ca Na	$\frac{157,2}{8,58}$	$\text{CaCO}_3 >$	$\text{Na}_2\text{SO}_4 >$	$\text{NaCl} >$	$\text{MgSO}_4 >$	$\text{Na}_2\text{CO}_3 >$	NaNO_3
					1,2	0,43	0,24	0,16	0,08	0,07

условиях устойчива форма H_2S , которая в анализированных пробах не определялась;

4) выделение на макроуровне двух групп пород: а) с дополнениями к солям карбоната кальция (реже — и магния) соли NaCl ; б) с дополнением к карбонатным солям солей MgSO_4 и Na_2SO_4 . На микроуровне в пределах пород первой группы выделяются подгруппа пород с абсолютным преимуществом карбонатных солей над другими, подгруппа с повышенным содержанием NaCl и NaNO_3 и подгруппа с существенным добавлением к CaCO_3 соли NaCl ;

5) существующая неоднородность, выражающаяся в своеобразии солевых форм и особенностях их распределения в породах, является результатом комплексного проявления разнонаправленных процессов, определяемых свойствами участвующих в них компонентов, природными и техногенными условиями, характером и свойствами отходов техногенных объектов.

По результатам анализа водных вытяжек из пород установлено, что преимущественная часть пород загрязнена относительно природного (фоновое) состава водорастворимых соединений. Об этом свидетельствуют: а) значительная минерализация (по данным максимальных ее величин) водных вытяжек; б) существенная неоднородность по минерализации и почти всем макрокомпонентам, образующим минерализацию; в) условия Eh (от +137,8 до +241,3 мВ), близкие к восстановительным, не свойственным породам зоны аэрации в обычных природных окислительных условиях и свидетельствующие о существенном ее загрязнении органическими веществами (см. табл. 4.5).

Согласно общепринятому положению о показателях природного формирования сред за природный геохимический фон пород взяты минимальные значения содержания компонентов в водных вытяжках из пород.

В целом, исходя из соотношения величин компонентов, образующих современный состав водорастворимых соединений пород с величинами их природного фона, к загрязнителям следует отнести все макрокомпоненты, но наибольшие превышения над природным фоном у HCO_3^- , Ca^{2+} ; меньше они у SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ ; минимальные — у Mg^{2+} (табл. 4.7).

Загрязнение пород по минерализации, соотношению компонентов-загрязнителей и их концентраций на разных участках территории неравноценно. Характер этого и набор компонентов-загрязнителей аналогичны неоднозначности загрязнения подземных вод упинского водоносного горизонта на рассматриваемой территории.

Состав водных вытяжек из пород приповерхностной части разреза территории г. Калуги и его окрестностей (2005 г.)

Компонент	Единица измерения	Диапазон содержания		Природный фон, мг/дм ³
		Минимум	Максимум	
ΣМ	мг/дм ³	35,5	217	30
	мг-экв/дм ³	0,49	2,76	
Cl ⁻	мг/дм ³	2,84	13,5	3
	мг-экв/дм ³	0,08	0,38	
SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	2	28,5	4
	мг-экв/дм ³	0,04	0,59	
HCO ₃	мг/дм ³	17,1	139	15
	мг-экв/дм ³	0,28	2,28	
CO ₃ ⁻	мг/дм ³	1	15,9	
	мг-экв/дм ³	0,02	0,26	6
Ca ²⁺	мг/дм ³	4	35,2	
	мг-экв/дм ³	0,2	1,76	1
Mg ²⁺	мг/дм ³	0,97	4,86	
	мг-экв/дм ³	0,08	0,4	3
Na ⁺ + K ⁺	мг/дм ³	2,8	18,86	
	мг-экв/дм ³	0,12	0,82	
Eh	+мВ	137,8	241,3	
pH		6,49	8,6	

Так, подобно подземным водам упинского водоносного горизонта, в породах зоны аэрации: 1) загрязнение делится на региональное и локальное; 2) загрязнение региональное количественное незначительно, но в нем проявляются почти все загрязнители, особенно хлориды и натрий; 3) локальное загрязнение увеличено по сравнению с региональным и представлено по характеру загрязнения несколькими группами, приуроченными к (рис. 4.2): а) участкам объектов с промышленными отходами; б) нефтебазам; в) участкам утечек хозяйственно-бытовых отходов; г) участкам животноводческих и птицеферм.



Рис. 4.2. Схема районирования упинского водоносного горизонта по водорастворимому составу пород зоны аэрации и их загрязнению

В целом локальное загрязнение более интенсивно и на отдельных участках характеризуется своеобразными компонентами-загрязни-

телями, что зависит от характера производства. Так, отходы Турбинного завода, содержащие в значительном количестве соединения серы с тяжелыми металлами, при окислении образуют серную кислоту, которая при сернокислотном выщелачивании пород зоны аэрации формирует сульфат магния, кальция, натрия (частично в твердом виде).

Районирование территории г. Калуги и его окрестностей по составу пород зоны аэрации и их загрязнению включает показания четырех районов, характеризующихся своеобразием минерализации, компонентного состава пород, их загрязнителями и интенсивностью загрязнения, сформированными под влиянием общего для территории загрязнения $S_{орг}$, Cl^- , $N_{общ}$ и загрязнения, проявляющегося в пределах районов 6 и 7 под влиянием SO_4^{2-} (см. рис. 4.2).

4.2.3. Современные гидрогеохимические условия упинского водоносного горизонта г. Калуги и его окрестностей

Современные гидрогеохимические условия упинского водоносного горизонта характеризуются по данным 2005 г. (табл. 4.8).

Минерализация подземных вод от 0,31 до 0,87 г/дм³; постоянные главные компоненты — HCO_3^- , Ca^{2+} (до 30–35 и 40 экв.%); компоненты повышенного содержания (в пределах 5–10 экв.%) — SO_4^{2-} , Cl^- , Mg^{2+} , Na^+ . Содержание компонентов SO_4^{2-} , Cl^- , Mg^{2+} , Na^+ в некотором количестве проб превышает 10 экв.% или не достигает 5 экв.%; в первом случае эти компоненты относятся к главным, во втором — к второстепенным и не входят в наименование состава воды. Основное их содержание — от 5 до 10 экв.% (при ΣM 100%), т.е. в формулу компонентного состава они входят как компоненты повышенного содержания (п). Распространенное соотношение между ними: $SO_4^{2-} > Cl^-$ и $Mg^{2+} > Na^+$.

По данным гидрогеохимического классифицирования (рис. 4.3) компонентный состав водоносного горизонта характеризуется формулами: 1) при минерализации до 0,42 г/дм³ — $HCO_3пSO_4CaпMg$; 2) 0,42–0,61 г/дм³ — $HCO_3пSO_4пClCaпMg$; 3) $> 0,61$ г/дм³ — преимущественно $HCO_3SO_4пClCaMгпNa$.



Рис. 4.3. Гидрогеохимическая классификационная диаграмма подземных вод упинского водоносного горизонта района г. Калуги по данным 2005 г.

Химический состав подземных вод г. Калуги и его окрестностей, ранжированных по возрастанию минерализации

Проба №	Адрес	Формула компонентного состава	Компоненты, мг/дм ³ //мг-экв/дм ³ //экв.%										ΣМ, мг/дм ³	рН Eh	Сухой остаток, мг/дм ³ лаб. стан-дарт. +80 °С	Окисляемость по КМnO ₄ мг/дм ³
			HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺					
7	Скв. 4 ПХГ	HCO ₃ SO ₄ пClCaпMg	178,1 2,92 67	47,56 0,99 23	14,9 0,4 10	н.о.	67,2 3,36 78	8,3 0,68 16	5 0,22 6	0,95 0,02	сл.	322	7,21 257,7	226 254,6	0,7	
1	Скв. 2 (ж/д) Ю. водозабор	HCO ₃ SO ₄ пClCaпMgпNa	192,8 3,16 60	67,36 1,4 26	27 0,8 14	н.о.	76,8 3,84 66	14,6 1,2 21	16 0,7 13	2,3 0,06	0,27	396,9	7,26 152,2	232 290,7	2	
5	Скв. 23 (Бор) Ю. водозабор	HCO ₃ пClпSO ₄ CaппMg	275,7 4,52 70	33,67 0,7 11	41,9 1,2 19	13 0,02 0,3	76 3,8 60	14,6 1,2 19	28,5 1,24 21	3,1 0,08		474,8	7,19 214,7	234 242	1,9	
14	Скв. 1 С. водозабор	HCO ₃ SO ₄ CaMg	307,4 5,04 75	63,7 1,33 20	13,5 0,4 5	н.о.	93,6 4,68 75	15,6 1,28 20	7 0,3 5	1,6 0,04		502,4	7,15 219,9	312 363	0,9	
15	Болото, Азаровский кирп. з-д	HCO ₃ пSO ₄ CaпMg	336,7 5,52 83	36,4 0,76 11	12,8 0,4 6	2 0,03	101 5,04 78	14,6 1,2 19	5 0,22 3	1,9 0,05		510,2	7,53 203,5	338 364,6	1,6	
2	Скв. 3 (ж/д) Ю. водозабор	HCO ₃ SO ₄ CaMg	295,2 4,84 65	88,78 1,85 25	22,7 0,6 8	10,2 0,16 2	98,2 4,91 65	24,4 2,01 27	12 0,52 8	2,6 0,07	0,22	554,2	7,53 170,6	397 339	2,3	
4	Скв. 21 (Бор) Ю. водозабор	HCO ₃ SO ₄ CaMg	327 5,36 69	84,3 1,76 22	24,9 0,7 9	0,5 0,01	110 5,48 71	19 1,56 20	15 0,65 9	2,4 0,06		582,7	7,14 245,5	299 352,2	1,4	

Продолжение табл. 4.8

Проба №	Адрес	Формула компонентного состава	Компоненты, мг/дм ³ //мг-экв/дм ³ //экв.%								ΣМ, мг/дм ³	pH Eh	Сухой остаток, мг/дм ³ лаб. стандарт; +80 °С	Окисляемость по КМnO ₄ , мг/дм ³
			HCO ₃	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺				
3	Скв. 17 Ю. водозабор	HCO ₃ пSO ₄ пС СапMгпNa	358,7 5,88 72	60,3 1,26 15	36,2 1 13	1,5 0,02	110 5,52 68	19 1,56 19	23,5 1,02 13	2,7 0,07	7,19 199,1	411 365,6	2,3	
6	Скв. 2 ПХГ	СНCO ₃ пSO ₄ СаNaпMг	192,8 3,16 33	79,8 1,66 17	172 4,84 50	н.о.	126 6,32 65	16,6 1,36 14	46,5 2,05 21	1,8 0,05	7,05 222,9	535 640	0,8	
11	Скв. 1678 3-д «Гигант»	HCO ₃ пSO ₄ пС СаMг	373,3 6,12 72	76,2 1,58 18	30,5 0,86 10	0,4 0,01	119 5,96 68	27,3 2,24 25	12 0,52 7	2,9 0,07	7,17 218,3	357 470,8	2,4	
13	Скв. 1 3-д «Тара и упаковка»	HCO ₃ SO ₄ пС СапMг	351,4 5,76 67	89,3 1,86 21	37,6 1,06 12	н.о.	136 6,8 79	12,7 1,04 12	16,5 0,72 9	2,1 0,05	7,14 232,7	434 489,4	2	
8	Скв. 5 3-д «Гурбинский»	HCO ₃ SO ₄ пС СапMгпNa	356,2 5,84 64	99,3 2,07 23	41,2 1,2 13	н.о.	140 6,96 76	14,2 1,16 13	22 0,96 11	1,5 0,04	7,04 257,9	472 512,2	1,2	
17	Пром. стоки ул. Московск., д. 295	HCO ₃ SO ₄ пС СаMгпNa	305 5 52	159,2 3,32 35	41,9 1,2 12	6,7 0,11 1	117 5,83 61	29 2,39 25	29 1,26 13	3,6 0,09 1	7,98 181,8	505 532,2	2,9	
12	Скв. 5384 Нефтебаза	HCO ₃ пSO ₄ пС СапMгпNa	397,7 6,52 66	76,5 1,59 16	54,7 1,5 16	15 0,24 2	130 6,52 68	22 1,8 19	27 1,17 12	1,2 0,06 1	7,26 226,5	523 558,8	1,8	

Окончание табл. 4.8

Проба №	Адрес	Формула компонентного состава	Компоненты, мг/дм ³ //мг-экв/дм ³ //экв.%										ΣM, мг/дм ³	Сухой остаток, мг/дм ³ лаб. стан-Дарт; +80 °С	Окисляемость по КМnO ₄ , мг/дм ³
			HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	pH			
10	Скв. 2 ПТФ	HCO ₃ SO ₄ пClCaпMg	322,1 5,28 50	202,6 4,22 39	41,2 1,2 11	1 0,02	16,8 8,04 7,5	23,9 1,96 18	14,5 0,63 7	1,9 0,05	0,18	7,26 223,5	768	587 703	4,5
14а	Скв. 7, узел 3 С. водозабор	HCO ₃ SO ₄ CaпMg	388 6,36 60	180 3,75 35	20,6 0,58 5	н.о.	174 8,68 81	18,7 1,54 15	9,5 0,41 4	1,8 0,05		7,19 219,3	792,3	399 597	0,5
18	Сброс в р. Оку с гор. очистн. сооружений	HCO ₃ SO ₄ ClCaпMg	322,1 5,28 47	124,5 2,59 23	83,8 2,4 21	61,2 0,99 9	113 5,66 50	23,9 1,97 17	78 3,39 30	11,5 0,29 3	0,37	7,54 180	818,2	683 666,8	2
9	Скв. 1 ПТФ	SO ₄ HCO ₃ CaпMg	314,8 5,16 43	299,2 6,23 51	24,9 0,7 6	1 0,02	180 9 80	22,2 1,83 16	11 0,48 4	1,8 0,05		7,32 242,2	853,9	489 739	1,1
16	Хоз.-быт. отходы, ул. Болдина, д. 47	HCO ₃ SO ₄ пClCaпMg	361,1 5,92 48	200,8 4,18 34	71,7 7 17	11,4 0,18 1	136 6,78 57	19,3 1,59 13	72 3,13 26	6,3 0,16 1	6,45 0,36 3	7,5 193,7	878,1	645 687,8	3,1

н.о. – не обнаружено; сл. – следы.

Азотные соединения представлены в рассматриваемых водах преимущественно нитратной формой с диапазоном концентрации от десятых долей до десятков мг/дм³ (табл. 4.8); преобладают концентрации ≈ 10 мг/дм³. Максимальная концентрация 61,2 мг/дм³ (стоки городских очистных сооружений). Азотные соединения в аммонийной форме присутствуют в подземных водах в десятых долях мг/дм³.

Окисляемость (по KMnO_4) характеризуется от десятых долей мг до первых единиц мг/дм³. Величины рН подземных вод преимущественно околонейтральные, редко — слабощелочные. По Eh — в пределах 152–257 мВ. При минерализации вод $\leq 0,75$ г/дм³ величины рН $< 7,5$; а Eh > 220 мВ; при минерализации $> 0,75$ г/дм³ рН $> 7,5$, а Eh < 190 мВ.

В целом наиболее широко распространенными в водах упинского горизонта являются формулы компонентного состава $\text{HCO}_3\text{пSO}_4\text{пClCaпMg}$ и $\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{пClCaMg}$. Изменчивость в компонентном составе вод при увеличении их минерализации представлена: а) возрастанием концентраций HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Na^+ и уменьшением Mg; б) величинами Eh $> (220-260)$ мВ и рН $< 7,5$ при минерализации до 0,75 г/дм³ и величинами Eh < 190 мВ, рН $> 7,5$ при минерализации, превышающей 0,75 г/дм³; в) соответствием в общем виде компонентных составов подземных вод и стоков и частным несоответствием в связи с их приуроченностью к различным в геохимическом отношении техногенным объектам (см. табл. 4.8).

При разграничении подземных вод по генетическому признаку близкими к природному формированию приняты воды с минерализацией менее 0,3 г/дм³ $\text{HCO}_3\text{CaMg(пMg)}$ компонентного состава. Условное содержание в них, мг/дм³ (экв.%) при $\Sigma\text{M} = 100\%$: $\text{HCO}_3^- \approx 150$ (35); $\text{SO}_4 \approx 40$ (8–9); $\text{Cl} \approx 15$ (4); $\text{Ca} \approx 60$ (36); $\text{Mg} \approx 12$ (8); $\text{Na} \approx 6$ (3).

На рассматриваемой территории они очень редки в упинском водоносном горизонте, но имеются в окско-тарусском и бобриковско-тульском водоносных горизонтах. Подтверждается вышеприведенный состав подземных вод околоприродного формирования на территории г. Калуги тем, что: а) в платформенных областях с гумидным климатом в зоне интенсивного водообмена формирующиеся в природных условиях подземные воды имеют минерализацию от менее 0,3 до 0,5 г/дм³ и в подавляющем числе случаев составляют группу гидрокарбонатных кальциево-магниевых вод; б) большинство минералов пород — главного источника компонентов подземных вод — слаборастворимы.

Как следует из классификационной диаграммы, значительная часть данных по хлоридам, сульфатам, магнию и натрию в водах упинского горизонта составляет менее 10 экв.% (при $\Sigma M = 100\%$); более 10 экв.% эти компоненты достигают в водах отдельных проб и в водах с минерализацией, близкой к 1 г/дм^3 .

Все подземные воды загрязнены относительно природного фона. Рассмотрение их пространственного положения во взаимосвязи с распределением техногенных объектов привело к заключению о формировании подземных вод регионального и локального загрязнения. Первое — слабое, но развито на обширных площадях; второе характеризуется значительной контрастностью концентраций и особенностями компонентов-загрязнителей.

Воды, однозначные по минерализации, разнятся по компонентному составу, что определяется разнообразием компонентов-загрязнителей в источниках загрязнения. Выделяются в качестве источников загрязнения атмосферные осадки, грунтовые воды, стоки разных объектов (ПХГ, нефтебаз, животноводческих комплексов и др.) (табл. 4.9).

На формирование аномалий загрязнения большое влияние оказывает увеличение в подземных водах концентраций компонентов-загрязнителей в фильтрационном потоке в условиях, когда источники загрязнения имеют площадное распространение. Так, обширная аномалия сформировалась в упинском водоносном горизонте на правом берегу р. Яченки (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Схематическая гидрогеохимическая карта упинского водоносного горизонта территории г. Калуги и его окрестностей

Исходя из схемы распределения техногенной нагрузки на подземные воды в Калужской области эта территория имеет явно выраженные загрязнения городского типа с преобладанием промышленной составляющей и большую численность населения.

Компоненты-загрязнители, установленные для подземных вод водоносных горизонтов территории Калужской области, представлены Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , $\text{C}_{\text{орг}}$, NO_3^- и микроэлементами.

В гидрокарбонат подземных вод помимо минерального углерода входит углерод в органической форме. Отнесение гидрокарбоната к органогенным компонентам-загрязнителям подтверждается наличием источников органических загрязнений для вод:

Состав стоков на территории г. Калуги (2005 г.)

Компонент	Размерность	Проба 16 (хоз.-быт.)	Проба 17 (пром.)	Проба 18 (гор. очистн. соор.)
ΣM	г/дм ³	878,1	691,1	818,2
HCO_3^-	мг/дм ³	361	305	322,1
SO_4^{2-}	мг/дм ³	200,8	159,2	124,5
Cl	мг/дм ³	71,7	41,9	83,8
Ca^{2+}	мг/дм ³	135,5	116,7	113,2
Na^+	мг/дм ³	72	29	23,9
Mg^{2+}	мг/дм ³	19,3	29	78
NH_4^+	мг/дм ³	6,45	0	0,37
NO_3^-	мг/дм ³	11,4	6,7	61,2
Fe	мг/дм ³	0,424	0,563	0,234
Al	мг/дм ³	0,272	0,41	0,252
B	мг/дм ³	0,054	0,059	0,071
Ba	мг/дм ³	0,053	0,059	0,051
Li	мг/дм ³	0,011	0,015	0,013
Mn	мг/дм ³	0,137	0,109	0,06
P	мг/дм ³	0,905	0,128	3,376
S	мг/дм ³	67,302	53,074	41,497
Si	мг/дм ³	6,505	5,407	7,193
Sr	мг/дм ³	1,34	2,371	2,089
Ni, Pb, Mo	мг/дм ³	Следовые концентрации (тысячные)		
pH		7,5	7,98	7,54
Eh		193,7	181,8	180
ΣUV	$n \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{дм}^3$	0,136	0,158	0,231
ΣPUV	$n \cdot 10^{-4} \text{ см}^3/\text{дм}^3$	0,636	0,647	1,084
ΣHUV	$n \cdot 10^{-4} \text{ см}^3/\text{дм}^3$	0,728	0,931	1,229
CH_4	$n \cdot 10^{-4} \text{ см}^3/\text{дм}^3$	0,526	0,521	0,958

а) аномально высоким (в процентах и абсолютных величинах) его содержанием в стоках и подземных водах, приуроченных к техногенным объектам, по сравнению с содержанием в подземных водах, близких по составу к естественному формированию;

б) несогласованностью его распределения с минерализацией, свойственной водам естественного формирования. В водах естественного формирования при возрастании минерализации от 0,1–0,2 г/дм³ и выше гидрокарбонаты кальция и магния, вследствие их слабой растворимости, осаждаются. Гидрогеохимическое классифицирование показало, что в водах упинского горизонта содержание

гидрокарбоната и кальция в условиях возрастающей минерализации увеличивается. Этому способствует образование хорошо растворимых органо-минеральных соединений, обеспечивающееся восстановительной (органогенной) обстановкой;

в) низкими значениями E_h подземной воды, формирующейся в восстановительных условиях, определяющихся обогащенностью вод органическими соединениями;

г) согласованностью низких E_h с повышенными значениями pH ; так, воды с $pH \leq 7$ чаще всего характеризуются E_h 220–260 мВ, а с $pH > 7$ — величинами E_h в диапазоне 150–200 мВ.

Загрязнение подземных вод органическими веществами является в городах самым широким и интенсивным, имеет региональное распространение и присутствует во всех аномалиях загрязнения.

Загрязнение хлоридами, натрием, литием, бором и другими элементами количественно незначительное, приурочено главным образом к локальным участкам (животноводческим фермам и др.). Региональное загрязнение, представленное коммунально-бытовыми отходами, очень слабое.

Загрязнение кальцием, калием, сульфатами, азотными соединениями, а также цинком, кадмием, железом, ртутью связано с загрязнением «органикой» вследствие их органогенной природы, определяющей участие этих компонентов в комплексообразовании.

Низкое содержание в водах магния объясняется его кристаллизацией в форме $Mg(OH)_2$ ввиду уменьшения растворимости этой миграционной формы магния на участках подземных вод с повышенной щелочностью.

В основу *характеристики пространственного распределения загрязненных подземных вод* в упинском водоносном горизонте на территории г. Калуги и его окрестностей положены данные по минерализации и компонентному составу, полученные в результате классифицирования. За границы подземных вод с различным составом и генетическими показателями в соответствии с классификационной диаграммой были приняты величины минерализации 0,5; 0,7; 0,8 г/дм³. Схематическая гидрогеохимическая карта упинского горизонта г. Калуги достоверно отражает природно-техногенные особенности территории этого города (см. рис. 4.4). Она дает представление о соответствии пространственного положения вод, близких к естественному и техногенному формированию, природным и техногенным условиям города.

4.2.4. Распределение микрокомпонентов в породах зоны аэрации и в подземных водах упинского горизонта

Из большого числа микрокомпонентов (36), проанализированных в подземных водах эмиссионным методом, рассмотрены компоненты постоянного присутствия в значимых концентрациях. Остальные (Be, Bi, Cu, Co, Mo, Rb, Se, Sc, U и др.) характеризуются содержанием ниже предела обнаружения или близким к нулю. Наибольшие содержания характерны для S, Si, Al, Fe, P, Sr, Mn, Ba, B. Низкие концентрации отмечены для Li, Zn, Cu, Cr (табл. 4.10).

Таблица 4.10

Выборочные характеристики содержания микрокомпонентов в подземных водах упинского водоносного горизонта и в стоках территории г. Калуги и его окрестностей (2005 г.)

Компонент	Содержание, мг/дм ³					
	В подземных водах			В стоках		
	Минимальное	Максимальное	Природное фоновое	Хоз.-быт.	Пром.	Гор. очистн. соор.
S	11	99,8	11	67,3	53,1	41,5
Fe	0,001	13,9	0,01	0,4	0,5	0,2
Si	3,7	8,4	4	6,5	5,4	7,19
Al	0,15	3,6	0,15	0,3	0,4	0,3
Sr	0,12	2,8	0,12	1,3	2,4	2,1
Mn	0,0006	0,26	0,05	0,13	0,11	0,06
Pb	0,04	3,4	0,03	0,9	0,1	3,4
Ba	0,02	0,084	0,02	0,05	0,06	0,05
B	0,004	0,07	0,01	0,05	0,06	0,07
Li	0,008	0,03	0,007	0,01	0,02	0,01
Zn	0,002	0,03	0,005	0,02	0,01	0,2
Cu	0,001	0,01	0,002	0,14	0,01	0,02
Cr	0,0005	0,001	0,0006	0,02	0,03	0,03
P	0,04	0,15	0,06	0,91	0,13	3,38
Ni	0,00	0,007	0,003	0,006	0,005	0,006
K	0,836	2,962	≈1,0	6,327	3,648	12,641

Выделяются группы элементов с характерными особенностями распределения в стоках:

- 1) S, Fe, Mn, Zn с уменьшающимся содержанием от хозяйственно-бытовых стоков к промышленным и очистным сооружениям;
- 2) Pb, P, K с максимальными содержаниями в стоках очистных сооружений, уменьшающимися к хозяйственно-бытовым и промышленным стокам;

3) Al, Ba, B, Li, Cr, Ni с близкими концентрациями в разных стоках;

4) Si, Sr с большими содержаниями в целом в стоках очистных сооружений.

В пределах *ранжированных рядов по данным состава подземных вод и стоков* выделяются сера, кремний и калий с существенно повышенными (особенно S) по отношению к другим компонентам содержаниями (см. табл. 10).

Ряд компонентов, присутствующих в максимальных и более низких концентрациях в подземных водах, мг/дм³:

S > Fe > Si > Al > K > Pb > Sr	> P, Mn	> Ba, B, Li, Zn, Cu	> Ni, Cr
единицы	десятые	сотые	тысячные

Ряд компонентов, присутствующих в подземных водах в концентрациях, минимальные величины которых близки к природным фоновым, мг/дм³:

S > Si > K	> Al > Sr > P	> Mn > Pb > Ba > B > Fe	> Li > Zn > Ni > Cu	> Cr
единицы	десятые	сотые	тысячные	десятитысячные

За фоновые природные концентрации микрокомпонентов в подземных водах ориентировочно приятны значения в водах проб, близких к фоновым природным по макрокомпонентам и минерализации (табл. 4.11).

Отнесение микрокомпонентов к формирующимся путем загрязнения обусловлено высокими их концентрациями в стоках. Особенно это относится к P, Zn, B, концентрация которых в водах слабо зависит (Zn) или практически не зависит (P, B) от окислительно-восстановительных условий. Их концентрации в стоках часто превышают или приближаются к концентрациям в подземных водах.

Стоки очистных сооружений, промышленные и хозяйственно-бытовые стоки характеризуются группой компонентов, представленных в общем виде S, Si, K, Sr с содержанием в десятках и единицах мг/дм³, и P, Fe, Al, Zn, Pb с содержанием в десятых долях мг/дм³; остальные компоненты содержатся в сотых долях мг/дм³; Ni — в тысячных (см. табл. 4.11).

Загрязненные по микрокомпонентам современные подземные воды по отношению к природному фону распространены регионально и локально. Локальное загрязнение особенно чувствительно и показательно с точки зрения повышенных концентраций макрокомпонентов. Так, в районе полигона подземного хранилища газа

**Распределение микрокомпонентов в подземных водах и стоках,
 ранжированных по убыванию их содержаний**

Содержание, мг/дм ³											
Подземная вода				Природный фон	Стоки						
Минимум		Максимум			Хоз-быт. отходы		Промстоки		Очистные сооружения		
S	11,0	S	99,8	S	11,0	S	67,3	S	53,1	S	41,5
Si	3,7	Fe	13,9	Si	4,0	Si	6,5	Si	5,4	K	12,6
K	0,84	Si	8,4	K	1,0	K	6,3	K	3,6	Si	7,2
Al	0,15	Al	3,6	Al	0,15	Sr	1,3	Sr	2,4	Pb	3,4
Sr	0,12	Pb	3,4	Sr	0,12	P	0,9	Fe	0,5	P	3,4
Pb	0,04	K	2,96	P	0,06	Pb	0,9	Al	0,4	Sr	2,1
P	0,04	Sr	2,8	Mn	0,05	Fe	0,4	P	0,13	Al	0,3
Ba	0,02	P	0,15	Pb	0,03	Al	0,3	Mn	0,11	Fe	0,2
Li	0,008	Mn	0,26	Ba	0,02	Cu	0,14	Pb	0,1	Zn	0,2
B	0,004	Ba	0,08	B	0,01	Mn	0,13	Ba	0,06	Mn	0,06
Zn	0,002	B	0,07	Fe	0,01	Ba	0,05	B	0,06	B	0,07
Cu	0,001	Li	0,03	Li	0,007	B	0,05	Cr	0,03	Cr	0,03
Fe	0,001	Zn	0,03	Zn	0,005	Zn	0,02	Li	0,02	Ba	0,05
Mn	0,0006	Cu	0,01	Ni	0,003	Cr	0,02	Zn	0,01	Cu	0,02
Cr	0,0005	Ni	0,007	Cu	0,002	Li	0,01	Cu	0,01	Li	0,01
Ni	0,00	Cr	0,001	Cr	0,0006	Ni	0,006	Ni	0,005	Ni	0,006

в результате окисления углеводородов в подземных водах повышены сульфаты и нитраты. На участках Турбинного завода и хозяйственно-бытовых отходов в водах формируются высокие концентрации сульфатов.

В формировании микрокомпонентов в подземных водах упинского горизонта на территории г. Калуги и его окрестностей значительную роль играют восстановительные условия, определяющие широкое распространение хорошо мигрирующих комплексных органо-минеральных соединений, обеспечивающих высокие концентрации микрокомпонентов в водах. Однако сочетание сложившихся условий с изменяющимися определяет формирование окислительных обстановок, вызывающих кристаллизацию соединений микрокомпонентов и снижение их концентрации в подземных водах.

Схематическая карта распространения микрокомпонентов в подземных водах составлена в вариантах А (рис. 4.5) — по S, Si, Fe, Al и Б (рис. 4.6) — по Sr, Ba, P, B, Li. Границы распространения вод с различными концентрациями микрокомпонентов варианта А оце-

нивались по концентрации S, варианта Б — по концентрации Sr; как содержащихся в водах в максимальных концентрациях выделенных групп А и Б.



Рис. 4.5. Распределение S, Si, Fe, Al в подземных водах упинского водоносного горизонта г. Калуги и его окрестностей



Рис. 4.6. Распределение Sr, Ba, P, B, Li в подземных водах упинского водоносного горизонта г. Калуги и его окрестностей

Границы распространения региональных и локальных микрокомпонентов-загрязнителей повторяют конфигурацию границ распространения подземных вод, загрязненных макрозагрязнителями (см. рис. 4.4—4.6). Прослеживается отчетливая взаимосвязь микрокомпонентов-загрязнителей с макрозагрязнителями: по P и B — принадлежностью к наиболее сильному загрязнению органическими компонентами; по Sr — сильным и широко распространенным загрязнением нефтепродуктами; по многим тяжелым металлам (в том числе по железу) — соотнесенностью повышенных их концентраций с промышленными и органическими отходами.

Закономерности распространения микрокомпонентов в водах упинского горизонта по данным схематических карт следующие:

1) из карты *варианта А* следует: а) распределение Si в водах упинского горизонта всей территории г. Калуги и его окрестностей неоднородно; б) резко изменяется концентрация Fe, менее резко — S и Al. Выделяются районы: *Западный* (к западу от р. Яченки), характеризующийся высоким содержанием в водах Fe, иногда пониженным содержанием S и повышенным содержанием Al. Это объясняется, по видимому, существенно восстановительными условиями подземных вод, формирующихся в обстановке значительного обогащения «органикой», вызывающей органо-минеральное комплексообразование; *Восточный* (к востоку от р. Яченки), характеризующийся пониженным содержанием Fe, Al и неоднородным, но в умеренных пределах, свойственным водам упинского горизонта, содержанием S. Их формирование объясняется слабоокислительными условиями, способствующими частичному удалению тяжелых металлов из воды в виде слаборастворимых окисленных форм;

2) из карты *варианта Б* следует, что распространение Sr, P, Ba, B, Li, практически не испытывающих влияния окислительно-восста-

новительных условий, изменяется слабо. Выделяется обширный район, занимающий практически всю рассматриваемую территорию в водах упинского горизонта, приуроченный к участку очистных сооружений и к участкам заводов «Гигант» и «Турбинный».

По распределению в породах микрокомпоненты составляют ряд (в %): Mn (40–100) > P (~40) > Zn (5–20) > Mo (3–15) > B (2,5–4) > Cu, Pb (1–5) > Li (1–3) > Ni, Co (0,5–4).

На участках регионального загрязнения подземных вод в породах содержание Mn, P около 1%; B — около 2,5%; тяжелых металлов — в минимальных %. На участках локального загрязнения подземных вод содержание микрокомпонентов в породах приближается к их максимальным концентрация; особенно это характерно для участков хозяйственно-бытовых и промтоходов, нефтебаз, южных водозаборов, птицефермы, что свидетельствует о загрязнении наряду с подземными водами также пород зоны аэрации.

Распределение микрокомпонентов в породах зоны аэрации г. Калуги и его окрестностей близко к распределению в подземных водах, что указывает на прямое отношение пород к формированию состава подземных вод (табл. 4.12).

Таблица 4.12

Распределение микрокомпонентов в породах зоны аэрации г. Калуга и его окрестностей (2005 г.)

Содержание	Компоненты, $n \cdot 10^3$ мг/дм ³												
	Mn	P	Mo	Sr	Zn	V	Cr	Cu	B	Ni	Pb	Li	Co
Максимальное	30-100	40-60	3-100	10	5-30	3-10	2-8	2-6	2,5-4	1-10	1-12	1-3	0,5-1,5
Часто встречающееся	40-60	40	6-10	10	6-8	6-8	5-6	~4	2,5-3	2,5-3,0	~2,0	1-2	1,0
Номера проб с максимальным содержанием	4, 12, 15, 19		3, 8, 9, 12, 11		3, 4, 9, 11, 12	3, 4, 8, 11, 13	8, 11, 12, 13, 18	3, 9, 16, 19		3, 9, 11, 12, 13, 19	3, 3, 16		8, 9, 11, 12, 13

4.2.5. Закономерности распределения газообразных сорбированных углеводородов в породах зоны аэрации и подземных водах упинского горизонта

Пробы подземных вод упинского горизонта, пород зоны аэрации и стоков отбирались на территории г. Калуги и его окрестностей на определение в них газообразных сорбированных углеводородов одновременно в каждом пункте опробования. Каждая проба анали-

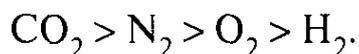
зировалась на десять углеводородных компонентов группы метана, представленных непредельными и предельными его гомологами от C_1 по C_5 , включая нормальные углеводороды и изомеры, а также на CO_2 , CO , O_2 , N_2 , H_2 . Расчетные компоненты представлены суммарным содержанием углеводородов, суммой непредельных и суммой предельных углеводородов.

Полученные сведения по породам, водам, стокам систематизированы с позиций природных фоновых содержаний и содержаний, сформировавшихся в условиях загрязнения. Сухие остатки водных проб и пород, приготовленные выпариванием при температуре $+80\text{ }^\circ\text{C}$, анализировались методом газовой хроматографии. Результаты анализа обрабатывались и интерпретировались применительно к стокам, к системе «сток — порода зоны аэрации» и к подземным водам.

Концентрации углеводородов в подземных и сточных водах ($n \cdot 10^{-4}\text{ см}^3/\text{дм}^3$): CH_4 , C_2H_4 , C_3H_6 , C_4H_8 — десятые; C_2H_6 , C_3H_8 , nC_4H_{10} , nC_5H_{12} — сотые; C_5H_{12} — тысячные.

Концентрации углеводородов в породах ($n \cdot 10^{-4}\text{ см}^3/\text{кг}$): CH_4 — тысячи и сотни; C_3H_6 , C_4H_8 — сотни; C_2H_4 — сотни—десятки; C_2H_6 , C_3H_8 , nC_4H_{10} , nC_5H_{12} , C_4H_8 , C_5H_{12} — десятки.

Сопутствующие газы в растворах и породах упинского горизонта представлены рядом:



В основном концентрации углеводородных и сопутствующих газов в породах существенно превышают их содержания в водных пробах. Разнообразие концентраций углеводородов и сопутствующих газов в пределах вышеуказанных групп проб определяются геохимическими свойствами компонентов, степенью и видами техногенности, соотношением с природными условиями и в целом своеобразием процессов, развивающихся в миграционных системах на пути от источников газов к подземным водам и в самих подземных водах.

Существенное внимание при исследовании углеводородных газов было уделено особенностям общего суммарного их содержания в средах упинского горизонта, суммарного содержания предельных и непредельных углеводородных компонентов: CH_4 — как главному показателю нефтегазового загрязнения; C_3H_6 — как основному показателю разработки нефтегазового сырья; C_4H_8 — как показателю повышенных сорбционных процессов в природных и техногенных условиях.

Сопутствующие газы изучались с позиций их распределения относительно природно-техногенных условий.

Сточные воды представлены данными по промстоку, хозяйственно-бытовым стокам, очистным сооружениям. Их минерализация 0,5–0,7 г/дм³. В составе углеводородных газов незначительно преобладает СН₄ ((0,5–0,9) · 10⁻⁴ см³/дм³) над С₄Н₈ ((0,3–0,4) × 10⁻⁴ см³/дм³) и С₃Н₆ ((0,2–0,4) · 10⁻⁴ см³/дм³). Суммарное содержание углеводородных газов (1,4–2,3) · 10⁻⁴ см³/дм³. В пределах сопутствующих газов СО₂ — 0,56–1,03 см³/дм³; N₂ — сотые см³/дм³; Н₂ и О₂ — тысячные; газонасыщенность — 0,6–1,06 см³/дм³.

4.2.5.1. Закономерности распределения углеводородов в породах зоны аэрации

В зону аэрации углеводороды поступают в газообразной форме с атмосферным воздухом, с атмосферными осадками, а также с пылеватыми и коллоидными частицами и со сточными водами.

Их распределение в породах зоны аэрации в значительной степени зависит от гранулометрического состава пород. Как следует из литологической систематизации, наиболее существенными дисперсными свойствами обладают породы зоны аэрации в районах Яченского водохранилища, южных водозаборов, отдельных участков в пределах северных водозаборов, заболоченные участки на северо-востоке территории, участки нефтебазы и завода «Тара и упаковка» в верхнем течении р. Кибеска. Суммарное содержание углеводородных газов в породах зоны аэрации 0,061–0,602 см³/кг (рис. 4.7).

В ранжированном ряду суммарного содержания углеводородных газов выделяется несколько групп проб с содержанием ΣУВ около 0,150 см³/кг, около 0,200 см³/кг, около 0,250 см³/кг; одна проба имеет содержание 353 см³/кг (табл. 4.13).

Породы, суммарное содержание углеводородных газов в которых достигает 0,250 см³/кг, приурочены к районам жилого комплекса г. Калуги, участкам водозаборов и заводов преимущественно с неорганическим производством, также к болотам; породы с более значительным суммарным содержанием углеводородных газов имеют место в районах размещения производств с органической продукцией, таких как завод «Тара и упаковка», в районах животноводческих ферм, в районе нефтебазы (рис. 4.8). Максимальное содержание углеводородных газов характерно для пород полигона подземного хранилища газа.

Газонасыщенность в породах (рис. 4.9) приходится на диапазон 81,6–984,0 см³/кг, газонасыщенность до ≈250 см³/кг свойственна

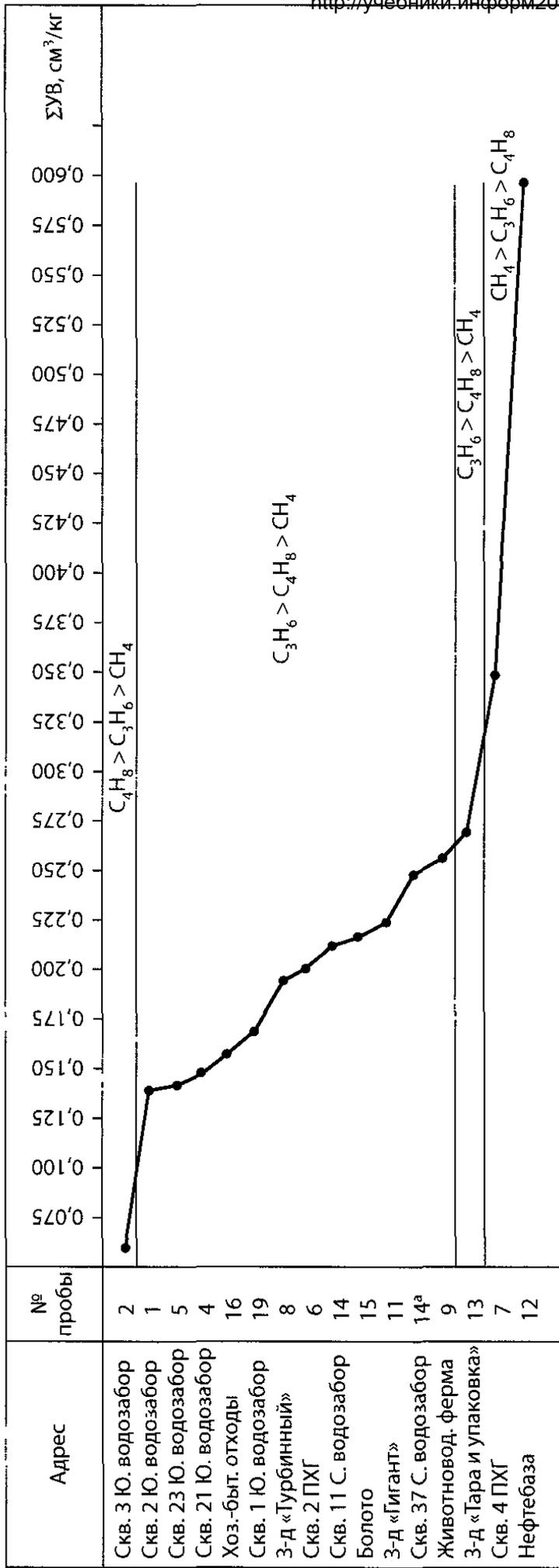
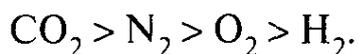


Рис. 4.7. Распределение суммарного содержания углеводородов (ΣУВ) в породах зоны аэрации

**Распределение газообразных сорбированных углеводородов
в породах зоны аэрации и в подземных водах углинского горизонта**

Адрес	Порода					Подземная вода					
	Проба №	$\Sigma УВ,$ $см^3/кг$	$СН_{4r}$ $л \cdot 10^4 \text{ см}^3/кг$	Проба №	$С_3H_6r$ $л \cdot 10^4 \text{ см}^3/кг$	Проба №	$С_3H_6r$ $л \cdot 10^4 \text{ см}^3/кг$	Проба №	$\Sigma_{убв}$ $см^3/дм^3$	Проба №	$СН_{4r}$ $л \cdot 10^4 \text{ см}^3/дм^3$
Скв. 3 Ю. водозабор	2	0,07	147	7	185	2	76	7	$8,8 \cdot 10^{-5}$	7	0,226
Скв. 2 Ю. водозабор	1	0,14	206	4	279	7	125	15	$9,5 \cdot 10^{-5}$	15	0,236
Скв. 23 Ю. водозабор	5	0,15	209	2	283	6	257	8	$1,18 \cdot 10^{-4}$	11	0,278
Скв. 21 Ю. водозабор	4	0,15	226	6	398	5	371	4	$1,19 \cdot 10^{-4}$	9	0,282
Хоз.-быт. отходы	16	0,16	233	1	460	1	439	9	$1,28 \cdot 10^{-4}$	14а	0,324
Скв. 1 Ю. водозабор	19	0,17	263	5	492	16	512	4	$1,32 \cdot 10^{-4}$	10	0,325
З-д «Турбинный»	8	0,19	275	19	527	8	514	16	$1,36 \cdot 10^{-4}$	6	0,359
Скв. 2 ПХГ	6	0,20	307	14	535	4	538	14	$1,44 \cdot 10^{-4}$	3	0,371
Скв. 11 С. водозабор	14	0,22	344	16	539	19	722	3	$1,46 \cdot 10^{-4}$	4	0,437
Болото	15	0,22	347	15	559	15	864	6	$1,51 \cdot 10^{-4}$	17	0,521
З-д «Гигант»	11	0,23	359	14а	598	11	911	10	$1,59 \cdot 10^{-4}$	16	0,526
Скв. 37 С. водозабор	14а	0,25	373	11	720	14	935	5	$1,74 \cdot 10^{-4}$	5	0,570
З-д «Тара и улаковка»	13	0,28	712	8	823	9	958	13	$2,09 \cdot 10^{-4}$	14	0,643
Животновод. ферма	9	0,33	1,208	9	827	14а	1005	2	$2,17 \cdot 10^{-4}$	13	0,683
Скв. 4 ПХГ	7	0,35	1,562	13	1023	13	1010	12	$2,19 \cdot 10^{-4}$	12	0,712
Нефтебаза	12	0,60	3,104	12	1354	12	1926	14	$2,28 \cdot 10^{-4}$	2	0,844

породам, распространенным в районах с относительно пониженным суммарным содержанием углеводородных газов. Высокая газонасыщенность пород свойственна районам расположения промышленных объектов, связанных с производством и переработкой органических веществ. Общий ряд распределения сопутствующих газов в породах зоны аэрации территории г. Калуги и его окрестностей



Предельные углеводородные газы в сумме преобладают над непредельными в породах территории полигона подземного хранилища газа; тип углеводородного газового состава пород метановый. В породах прочих объектов с существенным содержанием углеводородных газов преобладает тип C_3H_6 , также тип C_4H_8 .



Рис. 4.8. Распределение $\Sigma\text{УВ}$ [$<1500-2000$; $2000-2500$; $2500-3000$; >3000) $n \cdot 10^{-4} \text{ см}^3/\text{кг}$] в породах зоны аэрации верхней гидродинамической зоны г. Калуги и его окрестностей

Распределение CH_4 , C_3H_6 , C_4H_8 в породах зоны аэрации территории г. Калуги связано с емкостными свойствами пород и интенсивностью сорбции углеводородных компонентов (см. табл. 4.13). Выделены три типа районов на территории г. Калуги, в каждом из которых количественная характеристика пород по углеводородным газам соответствует природно-техногенным условиям (табл. 4.14).

К первому району относятся, главным образом, водозаборы (см. рис. 4.7). Углеводородные газы пород в районах их расположения соотносятся следующим образом: $\text{C}_3\text{H}_6 \geq \text{C}_4\text{H}_8 > \text{CH}_4$, что свидетельствует об относительно слабом участии в углеводородном газовом составе нефтяных компонентов и большем — компонентов переработки углеводородного сырья и сорбции.

Ко второму району относятся преимущественно заводские территории. В породах этих территорий преобладает C_3H_6 , реже представлен C_4H_8 ; CH_4 практически в породах всех проб этого района содержится в меньших по сравнению с C_3H_6 и C_4H_8 концентрациях.

В породах третьего района преобладает CH_4 , что объясняется его приуроченностью к нефтебазе, полигону подземного хранилища газа, животноводческой ферме (см. рис. 4.7, 4.8).

Основные процессы в миграционной системе «порода зоны аэрации — стоки» следующие. В районе расположения водозаборов преобладают процессы адсорбции C_4H_8 и C_3H_6 из жидких отходов водозаборных установок и транспортных средств; значительно слабее

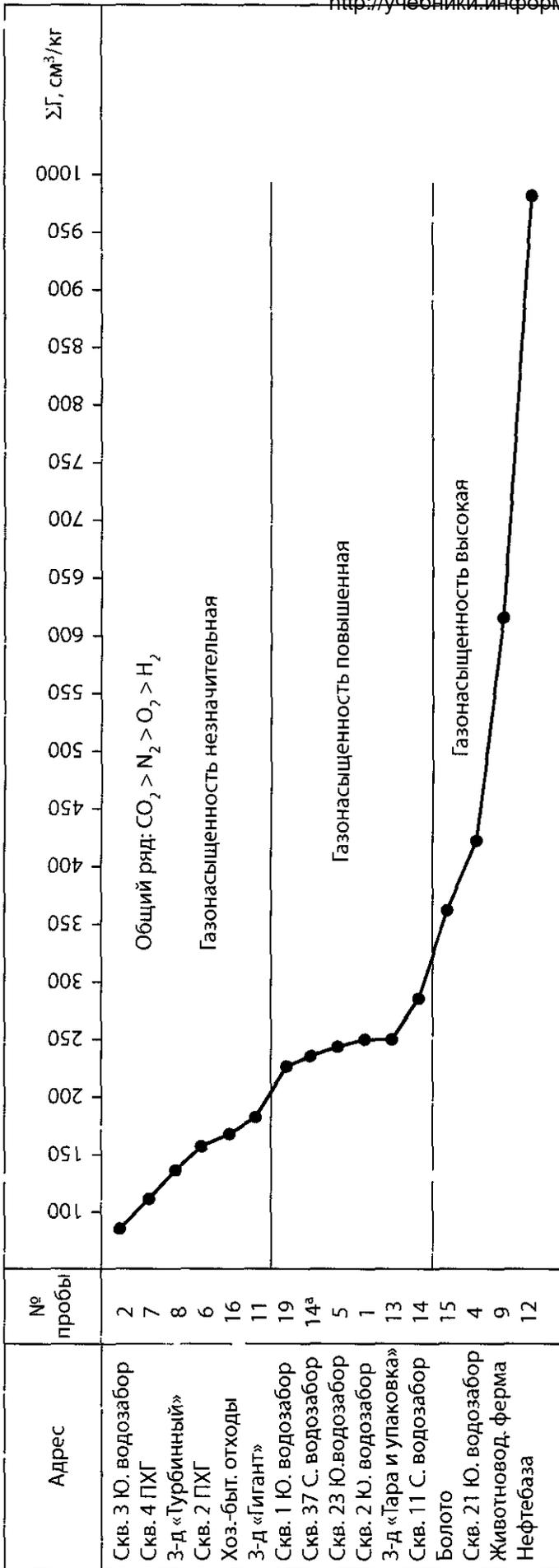


Рис. 4.9. Распределение суммарной газонасыщенности в породах зоны аэрации

Распределение в уплинских водах ($\rho \cdot 10^4 \text{ см}^3/\text{дм}^3$) и породах ($\rho \cdot 10^4 \text{ см}^3/\text{кг}$) максимальных (I), минимальных (II) и промежуточных (III) значений $\Sigma\text{УВ}$ и соотношений $\Sigma\text{ПУВ} > \Sigma\text{НУВ}$ (а), $\Sigma\text{ПУВ} < \Sigma\text{НУВ}$ (б), $\Sigma\text{ПУВ} \approx \Sigma\text{НУВ}$ (в)

		Порода				Подземная вода			
Объект	Категория	$\Sigma\text{УВ}$	$\Sigma\text{НУВ}$	$\Sigma\text{ПУВ}$	Объект	Категория	$\Sigma\text{УВ}$	$\Sigma\text{НУВ}$	$\Sigma\text{ПУВ}$
Нефтебаза	Іб	>6000	4000–3000	2000–3000	Нефтебаза	Іа	>2,0	1,25–1,5	1,6–0,5
ПХГ	Іа	3500–2000	<1000	3000–1000	Водозаборы	Іб	>2,0	1,8–1,0	1,2–0,6
Животновод. комплекс	Іб	3500–2000	2500–2000	>1000	Хоз.-быт. отходы	Ів	2,0–1,5	1,0–0,7	1,0–0,6
Пром. отходы	ІІб	2500–1500	2000–1000	1000–500	Животновод. комплекс	ІІб	1,5–1,0	$\approx 1,0$	$\approx 0,5$
Водозаборы	ІІб	2500–1500	2000–1000	1000–500	Пром. отходы	ІІв	1,5–1,0	1,0–0,75	1,0–0,5
Хоз.-быт. отходы	ІІб	2500–1500	2000–1500	1000–500	ПХГ	ІІб	>1,5	>1,0	1,0–0,5
Региональное загрязнение	ІІІб	<1500	<1000	<500	Региональное загрязнение	ІІІв	<1,0	<0,75	<0,5

представлен процесс окисления углеводородов и углеводородных продуктов. Концентрации углеводородных компонентов в отходах незначительные. На слабое проявление процесса окисления указывают низкие значения соотношения в породах CO_2/N_2 (рис. 4.10) и N_2/O_2 (рис. 4.11).

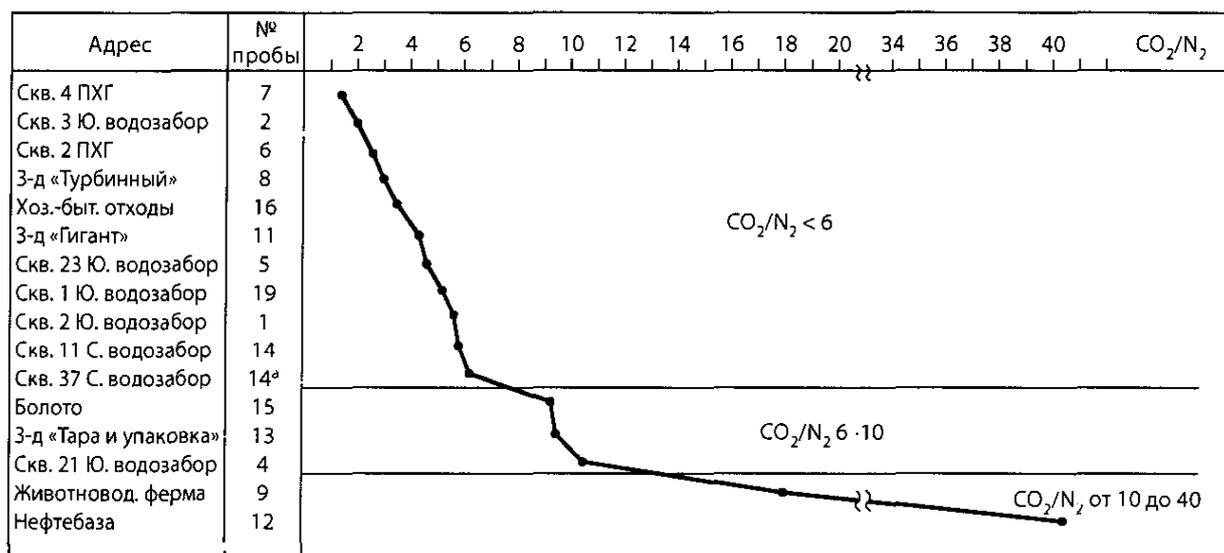


Рис. 4.10. Распределение CO_2/N_2 в породах зоны аэрации

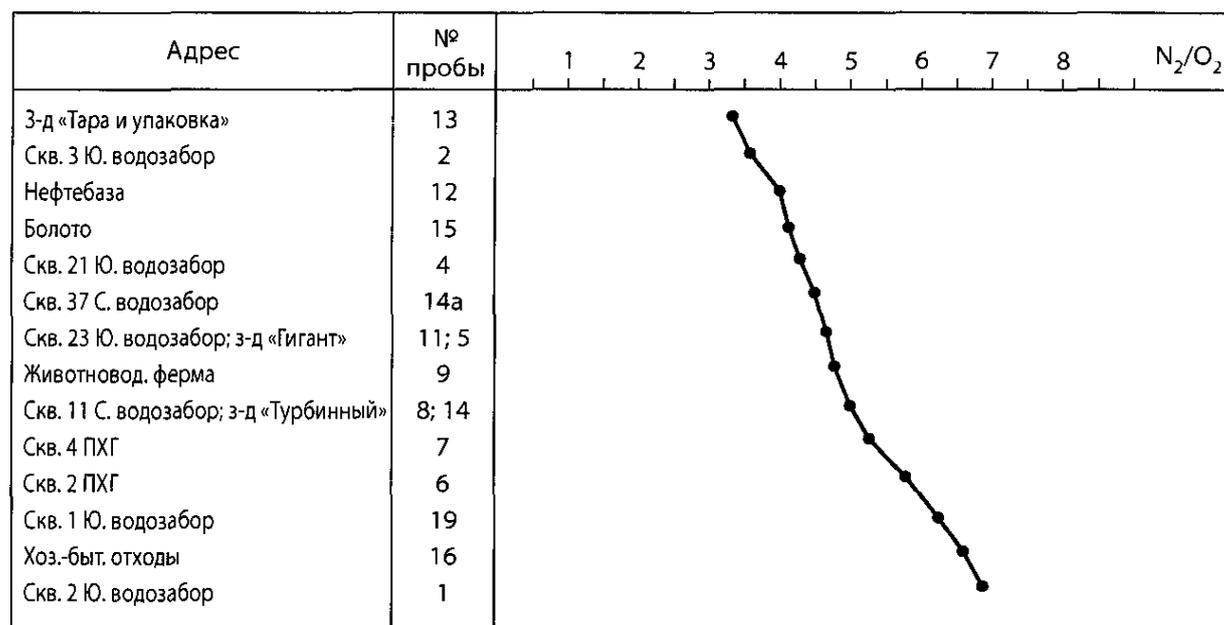


Рис. 4.11. Распределение N_2/O_2 в породах зоны аэрации

В пределах заводских территорий вследствие существенного формирования в сточных водах отходов переработки углеводородных газов и органических веществ развиваются процессы адсорбции, в первую очередь компонента C_3H_6 , т.е. усилены процессы окисления углеводородов и «органики». Водные отходы характеризуются повышенным содержанием $\Sigma УВ$, что отражается на загрязнении пород газообразным CO_2 .

В третьем районе объектов техногенные процессы представлены интенсивным окислением углеводородных газов (также «органики»), что связано с относительно высокими концентрациями углеводородов (главным образом метана) в сточных водах. Последнее способствует повышенной адсорбции метана породой.

4.2.5.2. Закономерности распределения углеводородов в подземных водах

Основной процесс формирования состава углеводородных газов подземных вод — их смешение со стоками и атмосферными осадками, проинфильтровавшимися через зону аэрации.

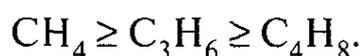
Диапазон $\Sigma УВГ$ в современных подземных водах упинского горизонта ($\leq 1,0-2,0$) $\cdot n \cdot 10^{-4}$ и более $\text{см}^3/\text{дм}^3$ (рис. 4.12). Исходя из характера изменения величины $\Sigma УВ$ в пределах ранжированного ряда выделяются две группы вод с различной изменчивостью $\Sigma УВ$ (см. табл. 4.13).



Рис. 4.12. Распределение $\Sigma УВ$ [$\leq 1,0-1,5$; $1,5-2,0$; $>2,0$) $n \cdot 10^{-4} \text{ см}^3/\text{дм}^3$] в подземных водах упинского водоносного горизонта на территории г. Калуги и его окрестностей

Первая группа характеризуется плавным незначительным увеличением суммарного содержания углеводородов в водах (до $0,00017 \text{ см}^3/\text{дм}^3$). Воды этой группы имеют отношение к объектам, не связанным или относительно слабо связанным с производством углеводородного характера. Минимальные величины $\Sigma УВГ$ отмечаются для вод водозаборов. Повышены они в водах животноводческих ферм, в промышленных стоках и пр.

Соотношение между значимыми углеводородными компонентами



Воды второй группы — с неравномерным возрастанием величины $\Sigma УВГ$. В них преобладающие компоненты CH_4 и C_3H_6 . Объекты, к которым они приурочены, связаны с производствами, включающими углеводороды; с объектами хранения углеводородной продукции и сырья, их транспортировкой, а также использованием в технологических циклах (нефтебазы, бензоколонки, очистные сооружения и пр.) и производством пищевой, бумажной и прочей промышленности.

В составе газообразных углеводородов подземных вод преобладает тип CH_4 , что связано с более значимой по сравнению с CH_4 сорбцией C_4H_8 , C_3H_6 и других углеводородных компонентов породами зоны аэрации.

Предельные углеводороды (рис. 4.13) приближаются к непредельным (см. табл. 4.14) в подземных водах района нефтебазы; близки их значения в городских условиях жилищного типа. В целом преобладает ситуация превышения в водах суммарного содержания непредельных углеводородов над предельными.



Рис. 4.13. Распределение $\Sigma\text{ПУВ}$ [$\leq 0,5-1,0$; $>1,0$] $n \cdot 10^{-4}$ $\text{см}^3/\text{дм}^3$ в подземных водах упинского водоносного горизонта на территории г. Калуги и его окрестностей

Распределение в подземных водах газонасыщенности по сопутствующим газам (CO_2 , N_2 , O_2 , H_2) в целом аналогично распределению $\Sigma\text{УВ}$. Основной компонент газонасыщенности — углекислый газ. В целом компоненты попутных газов образуют по убыванию концентраций ряд $\text{CO}_2 > \text{N}_2 > \text{O}_2 > \text{H}_2$. Суммарная газонасыщенность по сопутствующим газам $0,16-1,06$ (рис. 4.14).

Формирование CO_2 в существенных концентрациях приурочено к водам объектов, в пределах которых интенсивен процесс окисления углеводородов, и к объектам, характеризующимся значительными концентрациями углеводородов. На рис. 4.15 это воды с отношением CO_2/N_2 от 20 до 30 и более. Уменьшен доступ кислорода в упинский водоносный горизонт в районах водозаборов, для пород которых, как указывалось выше, характерны низкие значения коэффициентов фильтрации вследствие их существенной дисперсности.

Ранжированные ряды по величинам отношения CO_2/N_2 , составленные для пород зоны аэрации и подземных вод упинского водоносного горизонта, также свидетельствуют о существенном возрастании роли CO_2 по сравнению с N_2 на участках размещения производств, связанных с углеводородами. Окисление углеводородов обуславливается, наряду с формированием CO_2 , формированием N_2 и других попутных газов, но в существенно меньших концентрациях (рис. 4.16).

Возрастание содержания в подземных водах CO_2 , сопровождается уменьшением O_2 .

В целом основной процесс формирования углеводородного состава подземных вод — их смешение со сточными водами комму-

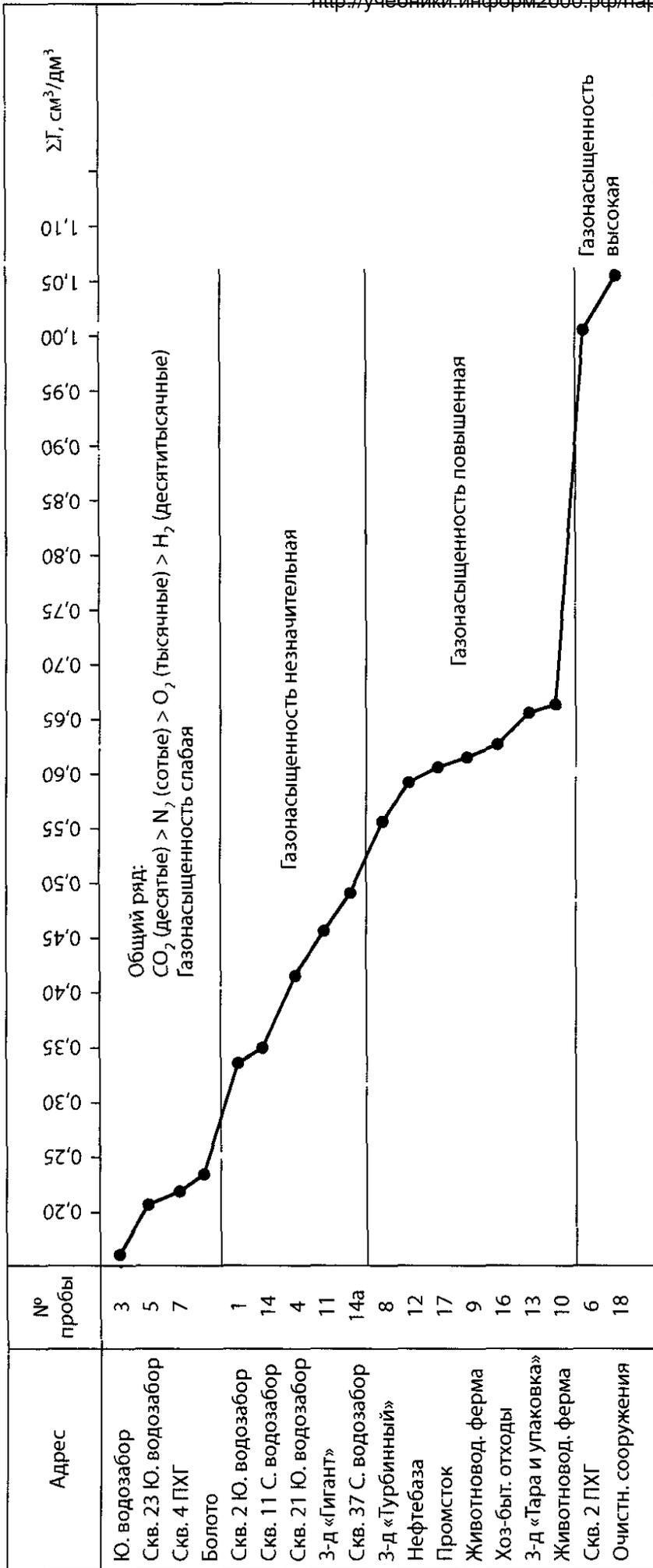


Рис. 4.14. Распределение суммарной газонасыщенности в подземных водах углинского горизонта

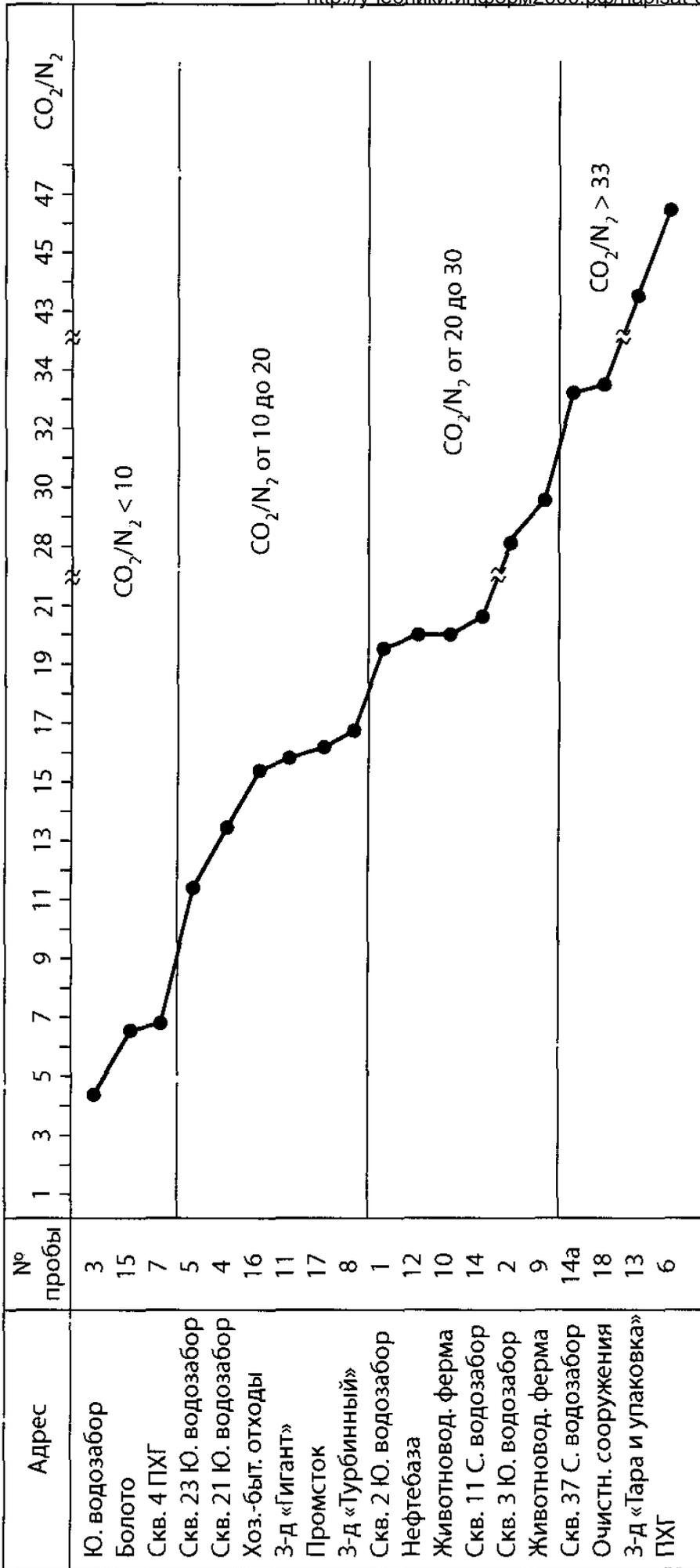


Рис. 4.15. Распределение CO₂/N₂ в подземных водах углинского горизонта

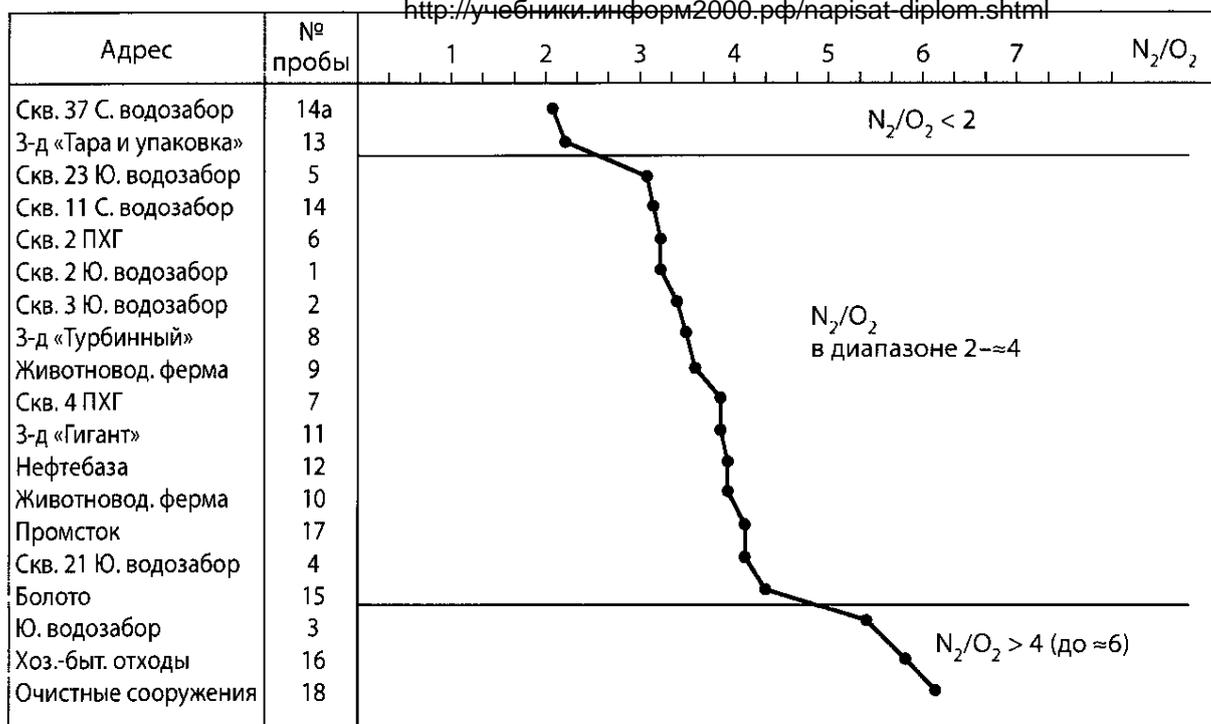


Рис. 4.16. Распределение N₂/O₂ в подземных водах упинского горизонта

нально-бытовых секторов и производственных, а также административно-производственных и прочих объектов. Вследствие разнообразия состава сточных вод состав формирующихся смесей различен, что следует из данных о современных условиях распределения углеводородов и сопутствующих газов в водах упинского горизонта и породах зоны аэрации.

Сравнение современного углеводородного состава вод и пород с природным их составом позволяет предположить:

- а) привнос в подземную воду углеводородов и сопутствующих газов сточными водами;
- б) значительность благоприятного влияния пород зоны аэрации на углеводородный состав сточных вод, главным образом, посредством адсорбирования из сточных вод целого ряда углеводородных компонентов.

Оценка загрязняющего влияния на подземные воды сточных вод по углеводородным показателям на данном этапе ориентировочная, так как:

- а) за фоновые концентрации условно приняты минимальные содержания углеводородов в водах;
- б) загрязнение рассчитано по отношению к максимальным концентрациям углеводородных компонентов.

Площадное распределение углеводородов в породах зоны аэрации и подземных водах упинского горизонта выявлено по данным обоб-

шающих показателей: суммарного содержания углеводородов в водах (см. рис. 4.13) и породах (см. рис. 4.8).

Характер распределения углеводородного загрязнения — региональный и локальный. Районы размещения которого четко повторяются в водах и породах.

Региональное загрязнение соответствует собственно городским территориям размещения жилых кварталов, предприятий и объектов обслуживания населения.

Локальное загрязнение фиксируется тремя крупными районами (рис. 4.17): а) размещения водозаборов, заводов, фабрик, сельскохозяйственных ферм; б) размещения автобазы, завода «Тара и упаковка» и более мелких объектов; в) размещения серии скважин полигона подземного хранилища газа.

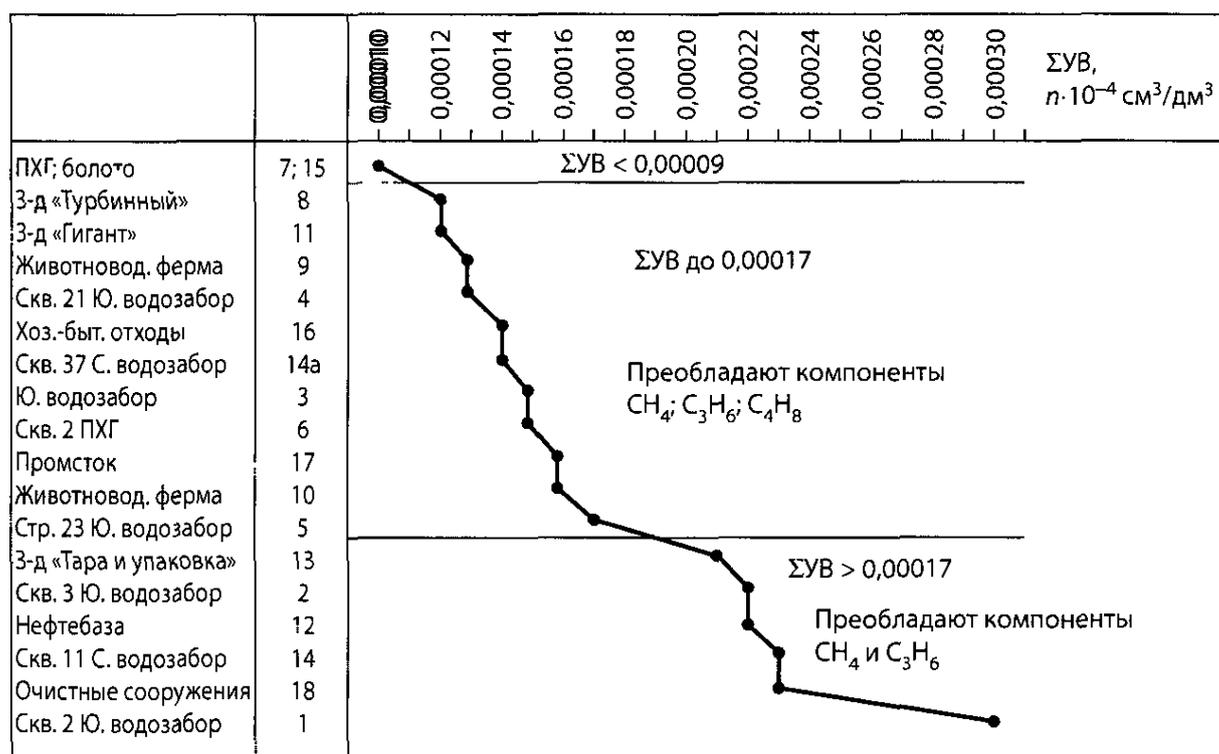


Рис. 4.17. Распределение суммарного содержания углеводородов ($\Sigma УВ$) в подземных водах упинского горизонта

Максимальные содержания $\Sigma УВ$ тяготеют к отдельным объектам, объединяемым в указанные районы, достигают $(2500-3000) \cdot 10^4$ и более $\text{см}^3/\text{кг}$ в породах и $(1,5-2,0) \cdot 10^4$ и более $\text{см}^3/\text{дм}^3$ — в подземных водах.

Распределение в породах зоны аэрации и в подземных водах предельных и непердельных углеводородов аналогично распределению $\Sigma УВ$; меняется только соотношение между отдельными углеводородными компонентами, что определяется, главным образом, харак-

тером техногенности объектов, литологическими особенностями пород, геохимическими свойствами углеводородных компонентов.

Ориентировочные сведения о загрязнении сред упинского горизонта углеводородами приведены в табл. 4.15.

Таблица 4.15

Превышение содержания наиболее значимых углеводородных компонентов в современных подземных водах упинского горизонта и породах зоны аэрации над содержанием в природных условиях

Объект	Состав УВ	Компонент $n \cdot 10^{-4}, \text{см}^3/\text{дм}^3$			
		$\Sigma\text{УВ}$	CH_4	C_3H_6	C_4H_8
Подземная вода	Современный	2,92	0,97	0,60	0,47
	Фоновый	1,00	0,23	0,13	0,17
	Величина загрязнения	1,92	0,74	0,47	0,30
Породы	Современный	6021,00	1562,00	1926,00	1354,00
	Фоновый	608,00	206,00	76,00	83,00
	Величина загрязнения	5413,00	1356,00	1850,00	1271,00

4.3. СОВРЕМЕННЫЕ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ НА ПРИМЕРЕ ОКСКО-ТАРУССКОГО ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА

Гидрогеохимические условия окско-тарусского горизонта рассматриваются по фондовым данным результатов химического состава подземных вод, приуроченных к обширной территории северо-восточной части Калужской области. В нее входят районы, характеризующиеся различной техногенной нагрузкой, например такие, как Малоярославецкий, Тарусский и др. с широким развитием разнопланового сельского хозяйства, Обнинский — с развитой промышленностью.

Минерализация подземных вод от менее 0,2–0,3 г/дм³, достигает чаще всего 0,7 г/дм³ и на локальных участках — 0,8 г/дм³ и более. Главные компоненты подземных вод — HCO_3^- , Ca^{2+} .

Остальные макрокомпоненты изменяются в концентрациях довольно существенно в зависимости от минерализации, которая в значительной степени обуславливается характером и интенсивностью загрязнения.

Систематизация данных химического анализа подземных вод посредством ранжированного ряда, в основу которого была положена минерализация, а компонентный состав обрабатывался путем гид-

рогсохимического классифицирования, позволила разграничить подземные воды на следующие гидрогеохимические группы (рис. 4.18).



Рис. 4.18. Классификационная диаграмма состава подземных вод окско-тарусского водоносного горизонта на северо-востоке Калужской области

1. Воды с $\Sigma M < 0,3$ г/дм³ с преобладающим HCO_3CaMg составом. В этих водах уже при минерализации около 0,1 г/дм³ повышено содержание хлоридов и сульфатов.

2. Воды с $\Sigma M 0,3-0,5$ г/дм³ с неустойчивым соотношением между анионогенными (преимущественно SO_4^{2-} и Cl^-) и катионогенными (преимущественно Mg^{2+} и Na^+) компонентами.

3. Воды с $\Sigma M 0,5-0,8$ г/дм³ $\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{ClCaNaMg}$ компонентного состава.

В водах второй и третьей групп увеличение минерализации происходит за счет возрастания концентраций SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ при уменьшении HCO_3^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} .

Компоненты-загрязнители представлены в подземных водах горизонта $\text{C}_{\text{орг}}$, SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ .

Загрязнение подземных вод окско-тарусского горизонта в многолетнем режиме в высокой степени неоднородное, что следует из довольно резкой изменчивости их минерализации. Отмечается большее загрязнение подземных вод окско-тарусского водоносного горизонта по сравнению с водам упинского водоносного горизонта по Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ . В целом в водах окско-тарусского водоносного горизонта при минерализации $< 0,3$ г/дм³ устойчиво содержание сульфатов и хлоридов от 5 до 10 экв.%, в то время как в водах упинского водоносного горизонта содержание этих компонентов в диапазоне минерализации $< 0,3$ г/дм³ часто меньше 5 экв.%.

Компоненты-загрязнители подземных вод окско-тарусского и упинского водоносных горизонтов: органические вещества, сульфаты, хлориды, натрий, кальций, азотные соединения. Соотношения между ними меняются в соответствии с разнообразием их распределения в источниках загрязнения, а также изменчивости состава самих источников загрязнения на территории области.

При рассмотрении особенностей распространения подземных вод окско-тарусского горизонта обнаруживаются гидрогеохимические закономерности, возникающие в связи с комплексным влиянием на них природных и техногенных факторов.

Основная закономерность заключается в том, что локальное загрязнение подземных вод окско-тарусского водоносного горизонта формируется в пределах городов на фоне регионального загрязнения. То есть вся рассматриваемая территория представляет собой огромную гидрогеохимическую аномалию загрязнения, характеризующуюся сложным строением. В ее пределах крупные населенные пункты представляют собой однородные, но характеризующиеся более высокой (0,5–0,7 и более 7–8 г/дм³) минерализацией локальные аномалии загрязнения подземных вод.

Подземные воды регионального загрязнения с минерализацией < 0,3 г/дм³ имеют отношение к областям питания слабозагрязненными атмосферными осадками в пределах водоразделов и прилегающих к ним участков; с минерализацией 0,3–0,5 г/дм³ — к долинам и придолинным частям малых рек с незначительным развитием техногенных нагрузок.

Аномалии локального загрязнения с минерализацией 0,5–0,7 г/дм³ тяготеют к долинам и придолинным участкам малых рек, а также к водоразделам в случае наличия населенных пунктов с увеличенной техногенной нагрузкой; с минерализацией 0,7–0,8 г/дм³ и более — к долинам относительно крупных рек и придолинным их участкам со значительным числом населенных пунктов (рис. 4.19).



Рис. 4.19. Схематическая гидрогеохимическая карта окско-тарусского водоносного горизонта северо-востока Калужской области

5. ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГОРОДОВ

5.1. НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МОНИТОРИНГА

Решение гидрогеоэкологических задач имеет целью прогноз изменений гидрогеологической обстановки на площадке, в районе, в окрестностях водозаборов и даже в обширном регионе или в пределах целой гидрогеологической структуры. Обычный порядок решения задач таков: вначале собирается исходная информация по фильтрационным свойствам водоносных и разделяющих пластов, оцениваются закономерности фильтрационной неоднородности в плане и разрезе: по распределению напоров; по местоположению и роду границ и граничных условий; по гидрогеохимическим особенностям и закономерностям. Затем обосновывается и строится гидродинамическая модель, на основе которой решаются обратные, эпигнозные задачи, позволяющие уточнить значения и пространственное распределение геофильтрационных параметров. Эти уточнения, калиброванная и верифицированная модель, нужны для решения прямых, прогнозных задач. В этой задаче по известным, заданным параметрам определяются значения и распределение элементов потока подземных вод: напоров, напорных градиентов, линий тока и линий равных напоров. В необходимых случаях для всей области моделирования или для ее наиболее значимой в практическом отношении части решаются и миграционные задачи, позволяющие прогнозировать продвижение жидкостей, загрязненных химическими веществами, радионуклидами, микрофлорой, теплом и т.п. [14].

При решении гидрогеологических задач следует исходить из двух, как минимум, принципов. Во-первых, в подавляющем большинстве случаев гидрогеологические задачи должны иметь практическую направленность. Прогнозы изменения обстановки нужны и важны для обоснования принятия управляющих решений в направлениях охраны, защиты и реабилитации подземных вод, а также для обоснования пространственно-временной структуры гидрогеологической части экомониторинга. Во-вторых, в процессе обоснования моделей проявляется известный (Бор, Гейзенберг), но немного адаптированный «принцип неопределенности», заставляющий исследователей применять несколько независимых методов для выявления

истинных значений величин и закономерностей их изменчивости. В этом смысле оценка сложившейся гидрогеологической обстановки должна вестись как можно более комплексно, с рассмотрением материалов и с применением соответствующих методов: гидродинамических, гидрогеохимических, геофизических, гидрологических, почвенных и метеорологических исследований.

Из сказанного понятно, что, только имея определенную модель процессов изменения гидрогеологической обстановки, можно претендовать на обоснованное решение прогнозных задач.

В общем случае применяемые для решения прогнозных задач модели процессов можно объединить в следующие группы.

1. Детерминистические, т.е. алгебраические и дифференциальные уравнения, используемые для описания относительно простых процессов фильтрации, массопереноса, турбулентного течения в руслах и т.п. Здесь гидрогеоэкология активно использует уже наработанный массив теоретических разработок и приемов практического применения уравнений гидродинамики и тепломассопереноса. Современная компьютерная техника позволяет решать достаточно сложные задачи.

2. Стохастические, т.е. вероятностно-статистические, употребляемые для описания более сложных и менее изученных процессов, таких как формирование химического состава подземных вод, взаимозависимости фильтрационных параметров и др.

3. Физические, используемые для лабораторного имитирования натуральных процессов.

4. Картографические и графические, в том числе для этого используются ГИС-технологии.

5. Концептуальные, т.е. сугубо качественные, применяемые для описания наименее изученных и сложных взаимозависимостей (например: «Повышение влажности приземного слоя воздуха при подтоплении земель увеличивает вероятность заболеваний»).

Актуальная задача — объединение этих частных моделей в систему для комплексного описания изменчивости элементарных экосистем — биогеоценозов. В 1990 г. академик Н.Н. Моисеев построил глобальную модель экосистемы Земли, на которой проиграл сценарии «ядерной зимы». Однако для более низких уровней экосистем, в частности для биогеоценозов, такие работы еще не сделаны. Такого типа локальные модели представляются более сложными в обосновании и исполнении, чем глобальные. Вообще, обоснование тех или иных моделей естественных и природно-техногенных процессов — предмет научно-исследовательских работ. При этом реализуются оба

подхода: от эксперимента и наблюдения — к теоретическому обобщению и от гипотезы — к проверке ее на практике.

В гидрогеоэкологическом обосновании проекта строительства — разделе ОВОС (оценка воздействия на окружающую среду) — основными процессами часто являются следующие: подпор и подтопление территории; иссушение; загрязнение. Рассмотрим эти ситуации применительно к строительству и эксплуатации различных сооружений.

К *подъему уровня грунтовых вод* ведет сооружение прудов, водохранилищ, полей фильтрации, поглощающих колодцев и тому подобных устройств. При этом развитие подпора может быть достаточно длительным процессом и захватывать обширные территории. Утечки из подземных водонесущих коммуникаций приводят к тем же последствиям. Например, для центра Москвы модуль утечек составляет величину более $4 \text{ дм}^3/\text{с}$ на каждый квадратный километр. Естественное же питание грунтовых вод характеризуется модулем $2 \text{ дм}^3/\text{с}/\text{км}^2$. Таким образом, грунтовые воды в Москве получают тройное питание и реагируют на это подъемом уровня. В результате половина территории города оказывается подтопленной грязными водами из канализационных труб. При прокладке трубопроводов, сооружении фундаментов, устройстве завес и стен в грунте зачастую часть поперечного сечения потока грунтовых вод перекрывается, в результате чего перед непроницаемой преградой уровни начинают повышаться, что приводит к подтоплению или даже к частичной разгрузке потока.

Подтопление территории имеет весьма негативные последствия, которые нуждаются в прогнозировании. Подтопленные территории характеризуются сейсмичностью на балл выше, т.е. в 10 раз. При развитии подтопления в местности, сложенной лессами, создается предпосылка для просадочных явлений. Подъем уровня меняет направленность и интенсивность почвенных процессов разложения «органики». Сравнительно быстрые и полно протекающие реакции аэробного разложения заменяются медленными — анаэробными. Окислительная обстановка почвенного раствора сменяется восстановительной. На поверхности земли появляются кочки, болотная растительность, начинается деятельность сульфатредуцирующих бактерий, образуется сероводород. Большая часть древесных и кустарниковых растений при подтоплении и заболачивании гибнет. В Москве при подтоплении сосны заболевают суховершинностью, а березы — серой гнилью. В подвалах появляется вода, и даже зимой дом заражается комарами. Покрытые сыростью стены — хорошая

среда для плесневых грибов, выделения которых разлагают строительный раствор, негативно влияют на здоровье людей. Наконец, подтопление приводит к заметному увеличению влажности приземного слоя воздуха, а это, в свою очередь, вредно для человека (особенно для детей) и летом, и зимой.

Иссушение, т.е. понижение уровня грунтовых вод, сопровождает работу крупных водозаборов. Хорошая сводка по влиянию отбора подземных вод на ландшафты в европейских странах подготовлена А.А. Жорновым. Для России работы этого направления — в периоде становления. Развитие воронок и обширных областей депрессии приводит к смене растительности, ландшафтного облика территории, плодородия почв, взаимоотношений поверхностных и подземных вод. Большая часть Московской и запад Владимирской области объединены крупнейшей в России областью депрессии в эксплуатируемых водоносных горизонтах карбона. В центре этой области данные горизонты потеряли право называться артезианскими — избыточный напор над кровлей полностью сработан и кривая депрессии вошла в водоносные известняки. К сожалению, последствия воздействия такого мощного водоотбора на ландшафты не исследуются, натурные полигоны закрываются по организационно-экономическим причинам. Можно предполагать, что иссушение скажется на наиболее уязвимых, болотных ландшафтах. Для верховых болот падение уровня болотных вод чревато торфяными пожарами. Для низинных болот сокращение грунтового питания может привести и к росту пожароопасности, и к обеднению видового разнообразия — основного показателя устойчивости экосистем. Интересным в этом отношении является сопоставление скоростей естественного нарастания торфа в среднеевропейских болотах (1 мм/год) и сработки залежи при ее осушении (8–10 см/год). Иными словами, толща торфа, накопившаяся за 2000 лет нашей эры, может исчезнуть за 20 лет.

Инфильтрационные водозаборы, располагающиеся вдоль рек, большую часть своей производительности основывают на использовании привлекаемых запасов, т.е. на речной воде, фильтрующейся к водозаборному сооружению. При этом реке наносится ущерб в виде снижения ее уровня и расхода. Этот ущерб может быть весьма значительным, вплоть до полного осушения части русла даже нересловых рек. Традиционно при оценке запасов для такого водозабора обращают внимание на минимальные, меженные расходы реки, чтобы определить, с одной стороны, максимальный ущерб стоку реки, а с другой — заданную обеспеченность (надежность) проектируемого водозабора. Для раздела ОВОС требуется и другая, нетради-

ционная модель взаимодействия водозабора с рекой в период половодий. Весной, например, на Оке, Клязьме и других незарегулированных реках затапливаемая пойма превращается в мелководный, хорошо прогреваемый, освещаемый и аэрируемый водоем — своеобразный «родильный дом и ясли» реки, где быстро растут и крепнут мальки и личинки разнообразных гидробионтов. Даже при несущественном с позиций надежности водозабора ущербе реке в 15–30 см может осушиться значительная поверхность поймы, что отрицательно скажется на продуктивности и видовом разнообразии речных обитателей.

Процессы и модели загрязнения подземных вод хорошо изучены и обоснованы современной гидрогеологией. Имеются аналитические решения и компьютерные программы, позволяющие решать даже очень сложные задачи переноса загрязняющих веществ в потоке подземных вод. Как правило, для большинства задач экологического обоснования проектов строительства оказывается достаточным применение сравнительно простых математических описаний и схем такого переноса.

Главными из используемых в настоящее время схем являются четыре.

1. Самая простая и «жесткая» — *схема поршневого вытеснения*. Суть ее — в предположении о равенстве скоростей потока фильтрующейся в породе воды и частиц загрязняющих веществ в нем. При этом формируется резкий, контрастный фронт, по одну сторону которого — «грязная» жидкость, а по другую — «чистая». Этот фронт перемещается со скоростью, определяемой действительной скоростью движения потока:

$$v = kI/n,$$

где k — коэффициент фильтрации породы, м/сут; I — напорный градиент потока; n — пористость породы.

Эта схема обычно дает некий инженерный запас прочности в прогнозных оценках и может применяться в сравнительно несложных и часто встречающихся условиях: однородные песчаные водоносные породы; простая пространственная и близкая к стационарной временная структура потока; несущественная роль границ.

2. Схема, учитывающая *процессы молекулярной диффузии*. Предполагается, что частицы загрязняющих веществ перемещаются конвективно, т.е. с потоком воды (как и в первой схеме), и, кроме того, под влиянием градиента концентраций. При этом частицы загрязняющего вещества опережают фронт конвективного переноса, а час-

тицы воды стремятся сместиться в сторону более «грязной» жидкости, где их концентрация меньше. Четкого и контрастного фронта в потоке не формируется, он «размазывается». Чем меньше проницаемость породы (и скорости фильтрации потока), тем существеннее роль диффузионной составляющей в уравнении, описывающем такое движение. Поэтому на практике по этой модели оценивают перемещение загрязнения сквозь глинистые экраны или слабопроницаемые разделяющие толщи.

3. *Модель гидродисперсии* применяется в случаях, когда водоносный горизонт представлен слоистыми отложениями или породами, имеющими и трещины, которыми определяется их проницаемость, и поры (или другие пустоты), определяющие емкость породы. Поток воды вместе с загрязняющими веществами относительно быстро фильтруется по трещинам или по самым проницаемым пропласткам, но в то же время постоянно теряет массу и концентрацию загрязнений, уходящих в емкостные элементы породы. Фронт загрязненной жидкости при этом еще более нечеток и прихотлив. Если порция загрязнения ограничена во времени и пространстве, то водоносный горизонт с подобными свойствами может ее полностью поглотить и далекого продвижения ее может не наблюдаться. Процессы механического поглощения, сорбции (в общем случае — заполнение емкостного пространства породы) иногда и нестрого отождествляются с «самоочищающей способностью породы». Изменение гидродинамических и физико-химических условий (откачки, нагнетания, рост или снижение величин pH и Eh) могут вновь вывести загрязняющие вещества в движущийся по проницаемым зонам поток. Промывка загрязненной части потока подземных вод часто оказывается неэффективной, так как чистая вода очень быстро будет проходить по трещинам и хорошо проницаемым частям горизонта, а емкостная часть породы очень медленно и «неохотно» станет отдавать накопленные запасы загрязняющих веществ.

4. Схема, учитывающая *плотностную конвекцию*. Эффект перемещения более плотной жидкости в нижние части водоносного пласта с вытеснением более легкой наверх известен давно. Применять эту схему следует в случаях, когда плотность загрязненной жидкости на 10–15% превышает плотность пластовой воды.

Выбор той или иной схемы определяется, кроме естественных особенностей самого процесса, еще и такими характеристиками, как представительность, достоверность, требования к необходимой и достаточной точности.

Представительность используемых при прогнозе величин определяется естественной неоднородностью объекта и методологическим принципом, который можно назвать «тройным тождеством». Этот принцип, вероятно, пригоден для многих естественно-научных прикладных задач и направлений и заключается в единстве и необходимом соответствии трех ключевых понятий: ЦЕЛЬ, МАСШТАБ, МЕТОД. Можно пояснить это на примере выбора значений коэффициента фильтрации. Если требуется оценить продвижение загрязняющего вещества от источника к дренажной скважине, то объем охваченного таким потоком водоносного пласта может иметь малые размеры, единицы и десятки метров, что заставит изучать проницаемость пород соответствующими методами: лабораторными, расходометрией, боковым каротажным зондированием и т.п. Проницаемость в данном случае определяется отдельными, наиболее раскрытыми порами и трещинами, текстурными и структурными особенностями сложения весьма ограниченного объема пласта. В этом случае может не потребоваться понятие водоносного горизонта. Если же требуется дать прогнозную оценку развитию воронки депрессии от крупного водозабора на 25 лет его работы, то поле ее развития захватит значительные пространства: по вертикали — всю мощность горизонта и, чаще, даже сопредельные водоносные и разделяющие пласты; в плане — расстояния в километры и первые десятки километров со всеми речками, болотами, существующими водозаборами и т.п. Проницаемость в этом случае будет определяться региональными закономерностями изменений фильтрационных свойств, и оценка их должна вестись совершенно другим комплексом методов: длительными кустовыми откачками; режимными наблюдениями и их интерпретацией. Представительность часто используемых результатов лабораторного определения коэффициента фильтрации не очевидна, ее всегда нужно обстоятельно и специально обосновывать.

Достоверность принимаемых в расчеты величин также определяется соотношением естественных свойств объекта (потока подземных вод) и обоснованности метода исследования. В качестве примера можно привести сделанное лет 15 тому назад изучение явления подтопления главного здания МГУ с помощью биолокации. Оператор, неся в руках рамку, проходил по полу подвалов и затем отмечал особенности поведения этого «измерительного прибора». В результате была составлена карта направлений потока грунтовых вод, не выдерживающая никакой критики с позиций гидрогеологии. На этой карте линии тока выходили и входили в непроницаемые

границы, пересекались и т.п. При этом результаты даже не обсуждались; теоретические основы такого, с позволения сказать, «метода» отсутствуют или совершенно невразумительны.

Точность входящих в расчеты величин очень важна в случае экологического обоснования проектов. При составлении раздела ОВОС разработчик сталкивается с величинами различного происхождения, измеренными с совершенно различной точностью. Например, при прогнозе притока вод в котлован строящегося здания геометрические его размеры даются с точностью чуть ли не до миллиметра, а проницаемость водоносных пород — до порядка величины с размерностью м/сут. В этих условиях часто появляется и нередко реализуется соблазн выдать результат — расход потока с точностью не менее четырех—пяти знаков после запятой, что является не только неграмотным, но и вредным.

Здесь, как представляется, уместно затронуть вопрос о профессиональной подготовке авторов — разработчиков разделов ОВОС в различных проектах. Помимо субъективных изъянов в подготовке, есть и объективные несоответствия. ОВОС — единственный раздел проекта, имеющий двойственный характер. С одной стороны, как часть проекта он представляет собой технический документ и должен готовиться в соответствии с требованиями действующих СНиП и ТУ. Но, с другой стороны, ОВОС — это прогнозная оценка, т.е. продукт научной работы. Паспорт специалистов инженерного профиля не предполагает обязательного умения прогнозировать сложные процессы воздействия сооружения на природную среду. Необходимо уметь ставить и решать прогнозные задачи. Эти несоответствия минимальны для специалистов-гидрогеологов, получающих разностороннее и комплексное образование.

Собственно оценка воздействия на окружающую среду проводится серией научных методов, дающих в лучшем случае количественную прогнозную оценку, а чаще — полуколичественную, в баллах. Последний способ удачен тем, что позволяет сравнить результаты для разных компонентов экосистемы в единой безразмерной оценке. Здесь используются наиболее абстрактные, математические модели для прогноза — детерминистические и стохастические, применяются картографические способы прогнозных оценок, а в самых трудных случаях — концептуальные модели и экспертные оценки.

Раздел ОВОС заканчивается предложениями по природоохранным мероприятиям. Здесь уместно сделать два замечания. Во-первых, все предложения должны хорошо обосновываться. Для этого

проводится оценка эффективности предлагаемого на моделях с помощью расчетов или по аналогии. Возможность применения ссылок на полезный опыт применения мер в других местах нуждается в отдельном обосновании. Во-вторых, практика определяет необходимость проектирования не только охранных, но наряду с ними мер защиты и реабилитации компонентов природной среды. ОВОС должна определенно ответить на эти вопросы. При этом под охраной подземных вод понимается научно обоснованный регламент хозяйственной деятельности, включающий запретительные и разрешительные меры. Типичные примеры охранных мер — зоны санитарной охраны водозаборов с различными по жесткости ограничениями в трех концентрических округах. Продолжается работа по включению принципов охраны подземных вод в Положение о водоохраных зонах, которое пока формально нацелено только на сбережение поверхностных водотоков и водоемов. На очереди такое же по смыслу гидрогеологическое рассмотрение СанПиН, устанавливающих границы и регламент санитарно-защитных зон вокруг предприятий. Все водоохраные меры требуют специального инженерного и экологического обоснования, т.е. самостоятельного проектирования.

Под защитой понимается инженерное воздействие с целью изоляции загрязнения или локализации сформировавшегося пятна загрязненных вод. В случае истощения запасов подземных вод защита предполагает применение мер искусственного пополнения (ИППВ): инфильтрационных бассейнов, магазинирования и др. Распространенными средствами защиты являются экраны из естественных и искусственных материалов. Полимерные пленки, используемые для изготовления экранов, пока еще очень дороги сами по себе и за счет трудоемкой подготовки основания для их укладки, тщательной сварки рулонов и защиты от механических повреждений. Кроме того, большинство пленочных полимеров могут стареть, мономеризоваться и терять свои изолирующие свойства. Естественные экраны изготавливаются из глин и тяжелых суглинков. Они дешевле и проще в технологии укладки. Их недостатком является заметное (возможно, на два порядка) увеличение проницаемости при фильтрации минерализованных растворов. К защитным мерам относятся дренажи пластовые и контурные, горизонтальные дрены и дренажные канавы, вертикальный дренаж скважинами и отвлекающие водозаборы. Общим недостатком этого рода защитных мер является их низкая эффективность по отношению к исходной концентрации загрязнителя — поток подземных вод разбавляет его с внешней от источника стороны.

Реабилитация (ремедиация) подземных вод и зоны аэрации как комплекс мер, направленных на возвращение им экологически приемлемых свойств и качеств, проводится как на месте (*in-situ*), так и с извлечением (*ex-situ*). Для очистки загрязненных подземных вод используют закачку реагентов в пласт, инициирование деятельности бактериальной микрофлоры, разлагающей органические загрязнители, и другие методы. В окрестностях г. Вольфен (Германия) загрязненную подземную воду откачивают, аэрируют, отстаивают, фильтруют и снова закачивают в водоносный пласт. Успехи в реабилитации подземных вод пока весьма скромные, и в этом отношении хорошо следовать известному в медицине принципу — всякая профилактика в сто раз дешевле и эффективнее лечения.

5.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОНИТОРИНГА

Проектирование мониторинга подземных вод должно основываться на том непреложном факте, что этот мониторинг лишь в том случае станет эффективным, если будет являться составной частью общего экомониторинга. Мониторинг подземных вод (МПВ) — не пропись или регламент наблюдений, а специальное инженерное сооружение (инструмент), необходимое для получения объективной и оперативной информации о процессах взаимодействия подземных вод с другими компонентами экосистемы. В этом смысле МПВ похож на радиотелескоп или ускорители элементарных частиц, т.е. входит в ряд устройств, необходимых для познания закономерностей реальной действительности. Будучи инженерным сооружением, требующим для своей реализации средства, материалы, время и трудовые ресурсы, мониторинг нуждается в проектировании, т.е. в инженерном и экологическом обоснованиях [14].

В систему мониторинга входят три подсистемы:

- 1) подсистема съема первичной информации;
- 2) подсистема коммуникации;
- 3) управляющий центр.

Локальный экологический мониторинг при инженерно-экологических изысканиях (стационарные наблюдения) введен как обязательный компонент изысканий документом СП 11–102–97 (пп. 4.89, 4.90) при проектировании и строительстве объектов повышенной экологической опасности, жилищных объектов в районах с неблагоприятной экологической ситуацией, в районах с повышенной экологической чувствительностью природной среды к внешним воздействиям. Такой подход для условий Москвы превращает проектиро-

вание и реализацию мониторинга в непреложную необходимость практически для большинства случаев.

Под *экологическим мониторингом* следует понимать систему наблюдения и контроля процессов взаимодействия компонентов окружающей среды с инженерным сооружением, реализуемую для прогнозной оценки последствий такого взаимодействия и принятия, в необходимых случаях, управляющих корректирующих решений.

В соответствии с определением и поставленной целью мониторинг должен выявлять воздействия сооружения на атмосферный воздух, поверхностный сток, подземные воды, инженерно-геологические процессы, почвы, флору и фауну, а также на социально-экологические показатели.

Стадии проектирования и реализации мониторинга:

- предварительное обследование области экологического проектирования и инженерной (архитектурно-строительной) концепции проекта для выявления главных задач мониторинга;
- проектирование системы мониторинга, координация с системами существующего соседнего локального мониторинга и (или) региональной системой мониторинга;
- создание (реализация) системы локального мониторинга, оснащение ее необходимым оборудованием, измерительными средствами и кадрами. Съём фоновой информации о предпроектном состоянии окружающей среды;
- отслеживание (проведение стационарных наблюдений) процессов взаимодействия инженерного сооружения с компонентами окружающей среды;
- моделирование процессов взаимодействия, решение прогнозных задач, оценка прогнозируемых последствий и моделирование, в необходимых случаях, эффективности и последствий управляющих решений.

Пространственная структура мониторинга должна соответствовать пространственной структуре той экосистемы, в которую вписывается проектируемое инженерное сооружение. Это означает, что размещение пунктов наблюдения и измерения мониторинга должно учитывать пространственную неоднородность, анизотропию элементов и параметров изучаемых процессов и полей, в которых они проявляются. Кроме того, расположение пунктов должно быть удобным для определения фильтрационных и балансовых параметров потока с учетом меняющейся со временем гидродинамической структуры.

Например, для фильтрационного потока грунтовых вод у прямолинейного участка реки, где поток в естественных условиях, скорее всего, плоский профильный, мониторинг проектируется как створ скважин, перпендикулярный реке и заканчивающийся гидростом. Для проекта потенциально фильтрующего или барражирующего поток сооружения представляется рациональным еще до начала строительства принять конструкцию мониторинга в виде «конверта», состоящего из пяти скважин, поскольку ожидается деформация потока в плане. Расстояние между скважинами принимается таким, чтобы разница в напорах была больше точности измерений. Конверт скважин позволит оценивать изменчивость проводимости, уровнепроводности, инфильтрационного питания или расхода перетекания. Слоистый или деформированный в вертикальной плоскости поток требует устройства этажных пьезометров. «Грязные» ленты тока должны отслеживаться скважинами, располагаемыми створами поперек лент тока.

Частота мониторинговых измерений и отбора проб должна соответствовать характеру временной изменчивости отслеживаемых величин. При этом частота может существенно меняться. Изменчивость уровней воды выше в половодные периоды и ниже — в межень. То же иногда наблюдается и для изменчивости химического состава воды. Частота выбирается так, чтобы периоды спада, подъема или стабилизации измеряемых величин фиксировались как минимум тремя замерами.

Поскольку строительство и эксплуатация инженерных сооружений затрагивают в основном подземные воды и грунты в основании, то мониторинг нацелен именно на их изучение. В состав мониторинговых наблюдений входят измерения уровня подземных вод, их температуры и слежение за изменениями показателей химического состава.

Для измерений уровня подземных вод по скважинам, колодцам, котлованам, шурфам и другим водопунктам используются линейки, штыри, хлопушки и электроуровнемеры. Точность измерений должна быть не менее 1 см. Измерительные инструменты перед использованием должны пройти метрологическую проверку, и в журналах наблюдений (буровом, откачек, режимном) должна быть сделана соответствующая поверочная запись.

Непосредственно у водопункта определяются следующие характеристики: рН, органолептика, температура (заленивленным или родниковым термометром), содержание железа, кислорода и сероводорода, аммоний- и нитрит-иона. Проба воды отбирается после прокачки скважины с удалением из нее не менее трех объемов воды.

Прокачка ведется желонкой или погружным насосом типа «Малыш». Перед прокачкой желонки и насосы тщательно моются, освобождаются от следов смазки и дезинфицируются. Пробы берутся пробоотборником Симонова (или другой конструкции) или одноразовыми пластиковыми бейлерами (желонками).

В пробах определяются следующие компоненты:

- макрокомпоненты — хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты, кальций, магний (натрий определяется по разности или инструментально);
- нитраты, окисляемость, БПК, ХПК, фенолы, нефтепродукты;
- токсичные тяжелые металлы, перечень которых определяется в ходе инженерно-экологических изысканий.

Представляется целесообразным использовать накопительные методы пробоотбора с помощью сорбентов (ионообменных смол или биосорбентов), экспонируя проницаемый контейнер в реке или другом водоеме на определенное время (сутки, неделю и т.п.).

При возможности гидрохимический мониторинг можно проводить инструментальными методами, с использованием ионоселективных электродов, устанавливаемых непосредственно на месте измерений при соблюдении мер защиты от вандализма и неосторожного повреждения.

Интегральную и объективную информацию о состоянии окружающей среды дают биоиндикационные методы.

Для оценки загрязненности воздуха используется метод лишенометрии. Суть метода состоит в измерении на представительных площадках и поверхностях трех характеристик: проективного покрытия (аналог биомассы) поверхности лишайниками; их видового разнообразия; состояния и численности лишайников-индикаторов, реагирующих на определенный вид загрязнения. Лишенометрические работы можно проводить сезонно.

Альгометрия, т.е. измерение биомассы и видового разнообразия водорослей-обрастателей (перифитон) и планктонных, дает возможность оценить загрязненность поверхностных вод и иногда судить о динамике загрязнения.

Бентометрия, т.е. измерение биомассы и видового разнообразия организмов, живущих на дне и в донных отложениях водоемов, позволяет не только подкрепить результаты аналитической гидрохимии и альгометрии, но и дать сведения о разгрузке подземных вод сквозь донные отложения.

При согласовании и утверждении технического задания на проектирование мониторинга (самостоятельно или в составе инже-

нерно-экологических изысканий) следует определить объемы и длительность мониторинговых наблюдений. При проектировании ответственных сооружений в районах с существенной экологической напряженностью и чувствительностью потребуется привлечение специалистов: геоэкологов и биоэкологов — к руководству работами. Менее ответственные работы в более спокойных геоэкологических условиях потребуют привлечения наблюдателей и организации их эффективной работы.

Для проведения мониторинга потребуется разнообразное оборудование, транспорт, лаборатории, вычислительная техника и расходные материалы.

Для восприятия, хранения, обработки, использования и визуализации мониторинговой информации можно использовать постоянно совершенствуемый пакет программ геоинформационных систем (ГИС), наборы программ, позволяющие реализовать постоянно действующие модели, а также решать прогнозные задачи фильтрации и миграции. Кроме того, должны использоваться стандартные пакеты программ для статистической обработки рядов и совокупностей величин.

Современные персональные компьютеры без каких-либо усовершенствований вполне пригодны для использования в управляющем центре мониторинга.

Информация, получаемая системой мониторинга, используется при проектировании и, кроме того, важна для Единой государственной системы экомониторинга. Поэтому должен быть запроектирован и реализован канал связи с региональным центром мониторинга для Москвы или области.

5.3. СОДЕРЖАНИЕ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Гидрогеохимическая часть мониторинга предусматривает получение информации о формировании химического состава подземных вод за конкретные периоды времени на конкретных территориях и о характере его изменения; это система запланированных повторяющихся наблюдений, направленных на разработку контрольно-профилактических мероприятий в целях обеспечения оптимальных условий функционирования природно-техногенных объектов и рационального использования природных водных ресурсов хорошего качества [16, 17].

Мониторинг включает слежение, наряду с подземными водами, за атмосферным воздухом, атмосферными осадками, почвой, породами зоны аэрации, водоносными породами, речными водами, донными речными и озерными осадками, стоками, твердыми отходами.

Комплексность мониторинговых наблюдений следует:

а) из понятия о подземной воде как о сложной системе, обладающей единством и взаимообусловленностью химических и динамических свойств, определяемых строением системы в совокупности с окружающими средами;

б) свойств подземной воды, обуславливающих ее высокую физико-химическую чувствительность к воздействию любых природных и техногенных сред, подверженность многосторонним изменениям и участие в глобальных природно-техногенных процессах;

в) миграции компонентов-загрязнителей к подземным водам по схеме: атмосфера → почва → подземные воды (водосодержащие породы) → поверхностные воды (донные осадки);

г) взаимосвязей и взаимообусловленностей гидрогеохимических и гидродинамических трансформаций на путях от источников техногенного возмущения подземных вод до подземных и в итоге — до речных вод.

Рассмотрение мониторинга городов в качестве самостоятельной части экомониторинга системы «подземная вода» обосновывается:

а) существенной значимостью территорий города в распространении негативного влияния на качество подземных вод за пределами городских территорий;

б) неблагоприятным влиянием городов на соседние территории, особенно через атмосферу (атмосферный воздух и осадки), что приводит к загрязнению значительных площадей; наряду с атмосферой, переносчиками техногенных компонентов, свойств, явлений негативного характера за пределы городов являются также поверхностные и грунтовые воды;

в) существенной специфичностью состава компонентов-загрязнителей городского типа, что провоцирует возникновение за пределами городских территорий процессов, не свойственных условиям этих территорий.

Типизация подземных вод городов по физико-химическим процессам и составу загрязнений определяется зависимостью от расположения городов в районах с различными физико-географическими обстановками, характеризующимися своеобразием гидрогеохимических природных условий. В крупном плане вновь формирующиеся под влиянием городов гидрогеохимические природно-техногенные

Типовые условия представлены в верхней гидродинамической зоне областями:

- а) с активным водообменом в условиях с гумидным климатом;
- б) затрудненным водообменом в аридных физико-географических условиях;
- в) затрудненным водообменом в криогенных условиях платформ.

Основой эколого-гидрогеохимических исследований является сеть наблюдательных пунктов; скважин; гидрорежимных постов на опорных реках; пунктов отбора проб дождя, снега, почв и пород; объектов формирования техногенных нарушений в виде подтопления, загрязнения, агрессивного воздействия вод на сооружения и пр. Размещение и структура сети наблюдательных пунктов в значительной степени определяются положением источников техногенного возмущения и геолого-гидрогеологическими условиями распространения возмущений. При мониторинге необходимо учитывать *форму источников загрязнения*: точечная, площадная. В первом случае концентрация загрязнений в направлении фильтрационного потока уменьшается, во втором — увеличивается.

Структура мониторинга подлежит периодическому пересмотру в связи с изменениями в технологии производства; дополнительными технологическими циклами переработки, очистки; существенными изменениями в структуре гидрогеодинамических и гидрогеохимических условий и др. Основные положения пересмотра действующей режимной сети заключаются в оптимизации существующих наблюдательных пунктов. Предлагаемые варианты режимной наблюдательной сети должны быть *экономичными и эффективными*, что достигается серьезным геолого-гидрогеологическим обоснованием.

В целом *мониторинговая наблюдательная сеть* разрабатывается на основе гидрогеологического строения территории, существенными вопросами которого являются геофильтрационные условия, структура фильтрационных природных и техногенных потоков, распределение областей питания подземных вод в естественных и нарушенных условиях, взаимосвязь подземных вод с поверхностными. Учет перечисленных гидрогеологических показателей позволяет добиться экономичного размещения наблюдательных пунктов. Экономичности и высокой эффективности работы режимной сети и получению добротной гидрогеологической информации способствует *методика интерпретации информации*, в которую заложены правила, позволяющие с большой точностью при возможно минимальном фактическом материале осуществлять регио-

нальную (картирование, районирование и др.) и балансовую оценки техногенных процессов.

Данные мониторинга являются *основой прогноза развития техногенных процессов*; для прогноза же необходимо знание целого ряда гидрогеологических параметров, закладываемых в расчетные задачи. *Основные параметры*: инфильтрационное естественное и техногенное питание; проводимость водоносного комплекса (комплексов); коэффициент фильтрации разделяющих слабопроницаемых (чаще всего глинистых) отложений; значение фильтрационного сопротивления русловых отложений рек; расходы рек. Определение этих параметров традиционно производят путем полевых опытных работ, включающих большие объемы дорогостоящих и длительно выполняемых операций типа кустовых откачек, гидрометрических наблюдений и пр. В условиях современного *компьютерного программного обеспечения* определение прогнозных параметров вполне вероятно путем решения обратных задач, при котором, однако, требуется достоверная гидрогеологическая основа.

Вышеперечисленное в целом определяет *структуру наблюдательной сети*: положение пунктов наблюдений, периодичность наблюдений, наблюдаемые компоненты. В случае *оптимизации режимной сети* среди пунктов наблюдений выделяют действующие, подлежащие ликвидации, вновь организуемые. В структуре действующих пунктов выделяют:

а) опорные, контролирующие ситуацию техногенных изменений непосредственно в пределах и вблизи источников техногенного возмущения;

б) вспомогательные, контролирующие распространение техногенных изменений в удалении от очагов возмущения;

в) приграничные, контролирующие изменения в положении границ между техногенными и естественными условиями формирования подземных вод и др., границ размещения участков техногенного возмущения;

г) резервные.

Значимость гидрогеохимических исследований при гидрогеоэкологическом мониторинге городов обосновывается:

- относительной частотой среди видов техногенного воздействия на подземные воды именно загрязнения и других негативных гидрогеохимических явлений;
- многообразием и разнонаправленностью физико-химических процессов загрязнения и других техногенных гидрогеохимических явлений;

- сложностью геохимических свойств компонентов-загрязнителей;
- широким развитием техногенных миграционных систем, характеризующихся неоднородными окислительно-восстановительными и щелочно-кислотными условиями;
- формированием загрязненных подземных вод со своеобразным составом и измененным (в худшую сторону) качеством;
- развитием физико-химических процессов, сопровождающих подтопление, просадки и другие техногенные явления и обуславливающих преобразования фильтрационных, прочностных и других свойств пород.

В целом гидрогеохимическую часть гидрогеоэкологического мониторинга городов следует понимать как систему, обеспечивающую техногенные исследования фактическими данными:

- натуральных полевых наблюдений;
- экспериментальных и аналитических работ;
- разнообразной с методических и прикладных позиций обработкой информации;
- целенаправленной с методических и прикладных позиций интерпретацией результатов обработки получаемой информации, направленной на комплексную разработку предложений по поддержанию состояния городских территорий, близкого к природному.

Задачи исследований:

1. Геолого-гидрогеологическое обоснование прогнозной оценки загрязнения природных вод компонентами-загрязнителями, поступающими из атмосферы, с промстоками, твердыми отходами и др.

Решение этой задачи требует изучения:

- литолого-минералогического, геохимического, фильтрационного строения пород зоны аэрации;
- минералогических и геохимических свойств пород и структуры грунтового и эксплуатационных водоносных комплексов (горизонтов в плане и по разрезу);
- региональных гидродинамических условий;
- взаимосвязи подземных и поверхностных вод, обуславливаемой с гидрогеохимических позиций;
- гидрогеохимических условий водоносных комплексов для естественных и нарушенных состояний.

2. Изучение физико-химических преобразований компонентов-загрязнителей в их источниках.

Для этого исследуются:

- закономерности распространения соединений серы, азотных соединений, углерода и тяжелых металлов в атмосфере в зависимости от направления и скорости ветра, от температуры воздуха;
- корреляционные связи между компонентами-загрязнителями в атмосферных условиях;
- особенности распределения в атмосфере компонентов-загрязнителей в зависимости от их геохимических свойств;
- состав стоков и изменение его во времени.

3. Физико-химические преобразования компонентов-загрязнителей в зоне аэрации:

- выявление условий формирования устойчивых миграционных форм, их распространенности, процессов и их особенностей в зависимости от щелочно-кислотных и окислительно-восстановительных обстановок.

4. Оценка гидрогеохимической защищенности подземных вод от загрязнения комплексом компонентов-загрязнителей городского типа:

- разграничение компонентов-загрязнителей на геохимически инертные по отношению к породам зоны аэрации и сорбируемые; выявление компонентов пород, по отношению к которым промоки агрессивны;
- разработка комплексного подхода к составлению карты защищенности, учитывающего фильтрационные и физико-химические параметры.

5. Установление закономерностей распространения компонентов-загрязнителей в подземных и поверхностных водах:

- уточнение естественного фона по компонентам-загрязнителям;
- установление миграционных форм компонентов-загрязнителей;
- оценка аномального состояния компонентов-загрязнителей в природных водах по отношению к фону и ПДК вод хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного назначения;
- изучение карбонатного и сульфатного равновесий в загрязненных водах;
- районирование территории городов и сопредельных территорий по условиям распространения компонентов-загрязнителей в природных водах.

6. Комплексное изучение техногенных процессов:

- подтопления;
- пространственно-временного изменения уровня, минерализации и компонентного состава подземных вод;

- агрессивных свойств подземных вод по отношению к фундаментам сооружений и процессов формирования видов агрессивности;
- пространственно-временных изменений в агрессивности вод и их тенденций.

7. Определение роли глубинных компонентов в процессах формирования состава подземных вод и в их загрязнении.

8. Установление закономерностей формирования и распространения микрокомпонентов в подземных и поверхностных водах в связи с региональным прогнозом загрязнения природных вод стоками; количественная оценка регионального фона микрокомпонентов и его превышения по ПДК.

9. Комплексный прогноз загрязнения вод компонентами-загрязнителями: разработка методики прогноза загрязнения подземных вод основными компонентами-загрязнителями с учетом их химических свойств, форм миграции и процессов, приводящих к позитивным и негативным последствиям.

Объекты опробования:

Водные: а) подземные воды; б) поверхностные воды; в) атмосферные осадки; г) сточные воды.

Породы: опробуются на глубинах 0,5–0,7 м вследствие наибольшей их подверженности техногенному влиянию.

Территории городов представляют собой сложнейшие природно-техногенные комплексы городского типа. При выборе природно-техногенных объектов для опробования учитывается целый ряд характеристических особенностей строения территории и основных источников негативного влияния на химический состав и качество подземных вод. В итоге в программу полевых работ включаются участки:

1) пищевой, хлопкообрабатывающей, льняной, бумажной промышленности; пищеблоки и многие другие объекты, отходы которых содержат значительные количества органических веществ и связанных с ними органо-минеральных компонентов, включающих тяжелые металлы и пр.;

2) разработок торфяников с образованием отходов смешанного органического и органо-минерального состава, содержащими га-лоиды;

3) нефтебаз, хранилищ газа и нефти, нефтеперерабатывающих заводов, бензохранилищ, автозаправочных станций и др. с отходами, содержащими углеводороды;

4) ТЭЦ, автобаз, автодорожных станций, автомагистралей и пр., загрязняющих атмосферу газами серы, азотными, водородными, а также в пылеватой форме;

5) цветной и черной металлургической промышленности, чугунолитейной промышленности, станкостроения и др., в отходах которых сосредоточены значительные концентрации микрокомпонентов, особенно тяжелых металлов;

6) стекольной, керамической промышленности, переработки строительных глин, песков, и прочих видов промышленности с набором в значительных концентрациях геохимически нейтральных компонентов;

7) жилых кварталов;

8) полей фильтрации;

9) станций аэрации и очистных сооружений;

10) водозаборов с позиций: а) возможного влияния на качество подземных вод промышленных, коммунально-бытовых, сельскохозяйственных и других объектов; б) удаленности от любых техногенных объектов; в) влияния поверхностных загрязненных вод на качество подземных вод;

11) распространения подземных и поверхностных вод на территориях, наименее и наиболее подверженных техногенному влиянию.

Отбор водных проб и пород проводится одновременно в каждом предусмотренном программой пункте.

Таким образом, *основные технические задачи мониторинга*: контроль за загрязнением природных сред территории (подземных, речных, атмосферных вод, пород) всем возможным комплексом компонентов-загрязнителей, поступающих в природные воды и породы из атмосферы, в виде техногенных вод от перерабатывающих объектов, твердых отходов, подземных хранилищ газа, полигонов подземного захоронения промстоков; контроль за изменением качества речных вод, имеющих хозяйственно-питьевое и рыбохозяйственное значение, и за агрессивностью смесей подземных и сточных вод на участках подтопления; контроль за изменением под влиянием техногенных процессов фильтрационных и прочностных свойств пород на участках подтопления, в районе подземного захоронения промстоков и др.

Учет гидрогеологических показателей при оптимизации режимной сети и прогнозе техногенных нарушений осуществляется посредством анализа изменчивости контролируемых параметров во времени и пространстве.

Поэтому *главная задача режимных наблюдений* — обоснованный подбор исследуемых параметров, которые имеют как естественное, так

и техногенное формирование. Это — уровень, глубины залегания, температура, минерализация подземных вод, величины Eh, pH, CO_2 своб; CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_3^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} , Fe^{3+} , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , N_2 , микрокомпоненты (Cu, Li, Cd, B, Mn, Zn, Ni, Pb, P, Hg и др.), органические вещества, нефтепродукты, H_2S , изотоп серы сульфатов.

Рекомендуется учитывать следующие *особенности анализа*: в нефльтрованной воде определяют физические свойства, pH, Eh, гидрокарбонаты, железо, содержание азотных соединений, растворенный кислород, биохимическое потребление кислорода, окисляемость.

Если невозможно определить окисляемость сразу после доставки пробы, отмеряют 100 мл (или меньшее количество) воды, подкисляют 5 мл H_2SO_4 (1:3) и на следующий день заканчивают определение. Остальные компоненты после консервации пробы могут анализироваться в последующие дни. Солевой состав SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ определяют в фильтрованной воде, но для весовых определений профильтрованная вода в отмеренных объемах тотчас же должна быть подкислена кислотой, после чего может быть оставлена на 1–2 дня.

Пробы для *определения аммиака* консервируют серной кислотой (1:3), приливая 2 мл кислоты на 1 дм³ исследуемой воды; пробы для определения нитритов и нитратов консервируют 2 мл хлороформа (на 1 дм³ воды). Для стабилизации форм минерального азота лучший эффект по сравнению с органическими консервантами дает прибавление окиси ртути в количестве 0,1 г на 1 дм³. Для определения сульфатов и тяжелых металлов пробу подкисляют: 1 см³ HCl (1:1) на 0,5 дм³ воды. Для определения фенолов воду подщелачивают добавлением 5 г едкой щелочи на 1 дм³ воды. Проба на нефтепродукты: лучше всего сразу после отбора экстрагировать CCl_4 — экстракты в прохладном месте могут храниться 7–10 мес; в бутылку с пробой добавляют 2–4 см³ CCl_4 и встряхивают 2–3 мин — проба хранится 2 недели [23].

Определение нитритов в сточных водах следует проводить немедленно после взятия пробы, потому что превращение нитритов в нитраты или в аммиак под действием микроорганизмов происходит постоянно. Этот процесс можно задержать не более чем на сутки, добавляя в пробу серную кислоту до pH 2–3.

Обращается серьезное внимание при анализе компонентного состава водных растворов на их минерализацию. Диапазон минерализации подземных вод верхней части подземной гидросферы довольно

существенный — от нескольких десятков—сотен мг/дм³ в районах с гумидным климатом до 50—60 г/дм³ и более в районах с аридным климатом; диапазон минерализации стоков — от первых единиц до десятков граммов на 1 дм³.

При *анализе минерализованных вод* требуется их разбавление, которое производится с таким расчетом, чтобы при объемных определениях объем титрованного раствора находился в пределах 5—20 см³, а при весовом определении масса осадка была бы в пределах 100—400 мг. При этом минимальный объем разбавленной воды, отбираемой на определение, должен составлять 25—50 см³.

Разбавление вод с минерализацией более 40—50 мг/дм³ лучше производить в два этапа: вначале относительно небольшой объем аликвитной части (25 или 50 см³) — в 10 раз, затем еще одно разбавление в необходимое число раз.

Важная проблема мониторинга — возможность сопоставления информации, полученной на разной аппаратуре всевозможными методами. Для получения сопоставимых результатов необходимо использовать унифицированные методы анализа.

Современное химико-аналитическое обеспечение представлено высокочувствительными, надежными и достаточно быстрыми методами определения большинства контролируемых минеральных и органических компонентов; рН и Eh определяются потенциометрически. Прецизионные потенциометры выпускаются фирмами *Radiometer* (Дания) и *Radetkis* (Венгрия).

Для *определения органических веществ, органического и общего углерода, нефтепродуктов* рекомендуются ИК- и УФ-спектрофотометры, и особенно газовая хроматография. Метод газовой хроматографии позволяет разделить многокомпонентные смеси с близкими свойствами на отдельные компоненты и определить несколько веществ в одной и той же пробе. Чувствительность метода высокая. Анализ, как правило, предшествует выделению органического вещества из воды путем экстракции соответствующим растворителем. При определении в сточных водах общего и органического углерода методом газовой хроматографии из отечественных стационарных хроматографов средней чувствительности используются приборы серии ХЛ.

Высокой чувствительностью и большими возможностями обладают хроматографы ЛХМ-7А, ЛХМ-8М, ЛХМ-ШМ. К высокочувствительным и надежным приборам относятся хроматографы типа «Цвет», модели «Цвет-3», «Цвет-4», «Цвет-5», «Цвет-6», снабженные несколькими детекторами для количественного определения различных веществ.

Наиболее доступными и дешевыми зарубежными приборами являются хроматографы типа «Хром» (наиболее совершенные модели — «Хром-3» и «Хром-31»).

Очень перспективен атомно-абсорбционный спектрофотометр (ААСФ) с зеемановским эффектом, который реализован в приборе модели 180—80 фирмы «Хитачи» и позволяет осуществлять учет неселективного поглощения до 1,7 ед. поглощательной способности, что делает возможным определение нанограммовых количеств ряда элементов из концентрированных растворов без отделения от мешающих компонентов матрицы, дающих неселективное поглощение (например, в морской воде), и обеспечивает более высокую точность анализа. В отечественном ААСФ «Сатурн» используется дейтериевый корректор фона, который обеспечивает учет неселективного поглощения лишь до 0,3—0,4 ед. поглощательной способности спектрофотометров (нитраты, нефтепродукты и др.): СФ-10, СФ-18 — регистрирующие, СФ-14 и СФ-16 — нерегистрирующие отечественных или зарубежных фирм: Хитачи (Япония), модель 557 (США); фотоэлектроколориметров: ФЭК-56, ФЭК-60; флуориметров: ФО-1, Анализ-1, ФАС-1, ФЛЮМ и др. и, как указывалось выше, — газовых хроматографов.

6. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

6.1. О МЕРАХ ПО УЛУЧШЕНИЮ ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ В МОСКВЕ

В связи с расширением площади Москвы (в 2 раза) в черту города вошли новые реки, ручьи и иные водные объекты. Если ранее вся гидрографическая сеть Москвы принадлежала только Москве-реке, то сейчас город «поглотил» и вторую, равную ей по рангу реку — Клязьму. Освоены территории бывших подмосковных деревень и городов-спутников, где были выгребные ямы, навозохранилища, склады пестицидов, свалки в карьерах и т.п. [14].

Все большее число водных объектов города исчезает в трубах и попросту засыпается. Здесь следует отметить, что под засыпанными водотоками сохраняются подрусловые потоки, которые продолжают реализовывать свою роль дрен для природных вод. Поэтому лучше их сохранять в естественном состоянии, чем при застройке применять инженерные меры против суффозии, подтопления и пр.

Заметно ухудшилось качество природных вод Москвы. Главная причина — сброс сточных вод и загрязнение этими отходами почв и грунтовых вод. В 1947 г. у Крымского моста и выше можно было искупаться безо всякого риска для здоровья, сейчас в естественных водоемах Москвы купаться не рекомендуется. Большинство московских родников, питающихся грунтовыми водами, дают непригодную для питья воду.

Применение противогололедных солей стало настоящей бедой для природных вод Москвы. Более 300 т хлоридов, рассыпанных за зиму по поверхности города, ни во что не превращаются, ничем не сорбируются, ничем не задерживаются. Термин «самоочищение» здесь совершенно непригоден. В результате засоления гибнут растения, деградируют почвы, резко меняют качество поверхностные и подземные воды.

Постоянно и неуклонно растет население Москвы. В связи с этим усугубились и стали острее многие коммунальные проблемы. Скачкообразно увеличилось «производство мусора» на душу населения, удлинились коммуникации и, как следствие, потери из них, выросли нормы жилой площади, и объемы жилья в Москве увеличились непропорционально естественному приросту населения. Почти до 3 млн ед. вырос автомобильный парк, что привело к опасному

загрязнению не только воздуха, но и почв и пород зоны аэрации и, как следствие, к загрязнению природных вод.

В десятки раз увеличивается площадь асфальтированных улиц и площадей. В этой связи уместно предположить, что структура баланса грунтовых вод изменилась, однако, серьезных исследований этой проблемы не проводилось.

Интенсивно осваивается подземное пространство города. Если в 1947 г. Москва располагала всего тремя линиями метро (26 км), то сейчас общая протяженность метрополитена 260 км, строительство новых линий и станций ускоряется. Естественно, что дренажный водоотлив, тепловое, геофизическое и химическое загрязнение как негативное воздействие на природные воды только усилилось.

На территории Москвы в 1950-е гг. было 37 свалок, из которых три считались крупными. Сейчас Москва стоит на 111 собственных свалках, из которых 26 — крупные.

Полвека назад только строился первый исследовательский атомный реактор и вывоз радиоактивных отходов велся малыми порциями на обычные свалки, сейчас в Москве девять реакторов и еще пять в самом ближнем Подмосковье (Химки и Лыткарино). В связи с этим создана система контроля и управления радиоактивными отходами (НПО «Радон»), ведется радиометрический мониторинг территорий и акваторий города.

Город до сих пор (2012 г.) не имеет комплексного Генерального плана и в связи с этим единой и непротиворечивой природоохранной политики, подкрепленной соответствующим экономическим механизмом. Срочно необходимо правовое регулирование в области прав граждан на здоровую среду обитания и защиту от градостроительных решений и негативных экологических процессов, наносящих ущерб их собственности и здоровью. В Москве, так же как и в России в целом, еще не развит институт экологического страхования. Только зарождается экоаудит. Внедрение в практику обязательной в развитых странах ОВОС при проектировании любой хозяйственной деятельности тормозится по многим причинам и не в последнюю очередь — за счет низкой экологической культуры руководителей строительного и коммунального комплексов города.

В России действуют явно устаревшие нормативно-методические документы, используемые в проектировании и строительстве. Например, в СНиП 2.04.03–85 «Канализация. Наружные сети и сооружения» допускаются двухсантиметровые зазоры в стыках канализационных труб, допускается инфильтрация в них грунтовых вод, а эксфильтрация — нет. Между тем совершенно понятно, что направленис

фильтрации зависит от соотношения напоров в трубе и водоносном горизонте или в зоне аэрации за ее стенкой. Таким образом, загрязнение грунтовых вод в городе оправдывается и закрепляется нормативно.

В Москве нет обоснования водоохраных зон малых рек, а 200-метровой ширины полоса вдоль Москвы-реки проходит безразлично и по паркам, и по свалкам, и по пром площадкам. Строительство и эксплуатация хозяйственных объектов не ориентированы на бережное отношение к подземным водам. Идеология инженерного обоснования строительства основана на принципе охраны сооружения от воздействия подземных вод, а не на необходимости сохранения экологически приемлемых качеств и свойств подземных вод как компонента экосистемы.

Подвести итог оценки антропогенного воздействия на подземные воды Москвы помогут следующие данные. Ежедневно Московский водопровод подает в столицу около 6,7 млн м³ воды, очищенной до норм ГОСТ. На очистные сооружения же приходится только 6 млн м³ стоков. Естественно, что часть потерь объясняется испарением, включением в готовую и вывозимую продукцию, но большая доля этих потерь — утечки из ПВК, равные 700 тыс. м³. Для сравнения укажем, что в естественных условиях питание грунтовых вод на территории, равной площади города (800 км²), не составляет больше 200 тыс. м³/год.

Очистные сооружения водопровода, хозфекальной и дождевой канализации ежегодно производят 5,3 млн т отходов; промышленность Москвы ежегодно нуждается в вывозе 6,5 млн т отходов, в том числе 1,7 млн т — токсичных и 5 тыс. т — радиоактивных. Твердых бытовых отходов город продуцирует за год 2,5 млн т. На городские улицы и магистрали в течение зимнего периода высыпается около 300 тыс. т соли, что составляет 20% от общего стока хлоридов в р. Москву. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу Москвы составляют 1,2 млн т в год, т.е. примерно по 100 кг на душу населения. Снег и почвы загрязнены этими выбросами на обширной площади, охватывающей всю территорию города и прилегающие части области на восток до Ногинска и Павлово-Посада, на юго-восток до Жуковского и на юг до Климовска. Среди основных загрязняющих элементов — серебро, кобальт, олово, свинец, цинк, никель, бериллий, фтор, ртуть, хром, вольфрам и др.

Что же может предложить современная гидрогеоэкология для снижения негативного воздействия на подземные воды и на природный комплекс города в целом?

С 1989 г. в Москве проводится экологическая паспортизация промышленных, энергетических и иных предприятий. В ближайшее время, вероятно, будут составляться санитарно-экологические паспорта на жилые дома. В каждом из этих документов определенное место занимает и гидрогеоэкологическая характеристика, состоящая в описании гидрогеологической обстановки, прогнозной оценке ее развития и предложениях по управляющим решениям. В настоящее время накопленный массив документов экологической паспортизации используется явно недостаточно. Представляется весьма полезным и своевременным обобщить эти документы с целью создания экологических паспортов районов, округов и, наконец, всего города. Эта работа стала бы необходимой основой для обоснования сети периферических наблюдений и получения первичной информации о состоянии экосистем и процессах в них, что требуется для создания системы комплексного экомониторинга Москвы.

Москомприрода и Департамент охраны окружающей среды должны настойчивее внедрять в практику проектирования любой деятельности, и прежде всего строительной, ОВОС как необходимое экологическое обоснование, подлежащее обязательной Государственной и общественной экологическим экспертизам. Понятно, что экологическое обоснование любого объекта должно включать прогнозные оценки изменения гидрогеологической обстановки, основанные на моделях процессов взаимодействия подземных вод со всеми компонентами экосистемы. Необходимой частью ОВОС является обязательное рассмотрение всех возможных технических решений и их влияния на экосистему, включая «нулевой вариант», т.е. отказ от проекта. Нормативно-методическая база для таких оценок пока еще слабо разработана.

Следует как можно быстрее восстановить так называемую режимную сеть наблюдений за подземными водами в городе. Имеющиеся скважины расположены случайным образом, не характеризуют гидрогеологические условия водосборных бассейнов, не позволяют оценить перетекание в артезианские горизонты, сеть скважин не пополняется и не обновляется.

Пришла пора обосновать и закрепить новые водоохранные зоны в Москве. Здесь следует исходить из единства всех природных вод, не деля их искусственно на поверхностные и подземные. Известно, что именно подземными, а в условиях Москвы — грунтовыми водами питаются реки большую часть года, за исключением периода половодья. Емкость грунтовых водоносных горизонтов гораздо выше емкости речного русла, поэтому загрязнение, попавшее в грунтовый

поток, будет медленно, но постоянно отравлять реку, по которой поверхностное загрязнение давно сошло. Отсюда следует необходимость включать в водоохранную зону области питания грунтовых потоков, разгружающихся в реки, водохранилища и озера. Более того, если область питания захватывает часть промплощадки или бывшей свалки, то эти объекты следует включить в водоохранную зону для получения ими определенного статуса территорий, нуждающихся в проектировании мер защиты и реабилитации подземных вод. В водоохранных зонах нуждается не только и не столько Москва-река, сколько малые реки, речки и ручьи. В тех случаях, когда берега оборудованы набережными, водоохранные зоны определяются по тем же принципам, так как дренажные призмы и другие подобные устройства отводят подземный поток в реку в виде сосредоточенных выпусков. Взятые в трубы и полностью засыпанные реки и ручьи также нуждаются в водоохранных мероприятиях, поскольку являются базисом искусственной гидрографической сети — дождевой канализации, а кроме того, сохраняют свой подрусловой поток неопределенно долгое время с момента засыпки.

6.2. О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ГОРОДАХ (НА ПРИМЕРЕ г. МОСКВЫ)

Подземные воды горизонтов карбона на территории г. Москвы загрязнены. Загрязнение подземных вод носит региональный и локальный характер [14, 16].

Региональное загрязнение количественно незначительное; характеризуется околофоновой минерализацией, слабо возрастающей в каждом из горизонтов от центральных областей инфильтрационного питания по направлению фильтрационных потоков. В разрезе загрязнение уменьшается к более глубоко залегающим горизонтам, но несущественно.

Изменение минерализации вод регионального загрязнения повторяет конфигурацию изолиний напора подземных вод, что указывает на региональные источники загрязнения. Последние представлены загрязненными атмосферными осадками, загрязненными грунтовыми водами и породами зоны аэрации.

Среди значительного количества компонентов-загрязнителей городских территорий наиболее широко распространены органические вещества, азотные соединения и многие микро- и макрокомпоненты органогенной природы.

Подземные воды *локального загрязнения* образуют гидрогеохимические аномалии, приуроченные к техногенным объектам. Они, как правило, отличаются от подземных вод регионального загрязнения повышенной минерализацией, своеобразным набором компонентов-загрязнителей и неоднородным пространственным положением, обусловленным особенностями размещения наземных техногенных объектов, в отличие от относительно однородного регионального загрязнения в любом населенном пункте.

В разрезе водоносных горизонтов карбона компонентный состав подземных вод каждой из аномалий загрязнения близок. Общая же минерализация подземных вод вниз по разрезу уменьшается вследствие снижения концентраций компонентов-загрязнителей. В целом локальное загрязнение в вертикальном разрезе карбона имеет этажное строение. Количество этажей в пределах разных аномалий загрязнения складывается из числа водоносных горизонтов, подверженных загрязнению.

Для территории г. Москвы водоносные горизонты карбона систематизированы по характеру распределения в них гидрогеохимических аномалий загрязнения.

Основные результаты систематизации

1. Гидрогеохимические аномалии загрязнения в каждом из водоносных горизонтов карбона образуют районы, характеризующиеся общностью главных показателей загрязнения (рис. 6.1–6.4, табл. 6.1).



Рис. 6.1. Распределение наиболее значимых аномалий загрязнения в водоносном горизонте $C_3 ksm$ и характеристика минерализации ($г/дм^3$) и напоры (абс. м) подземных вод



Рис. 6.2. Распределение наиболее значимых аномалий загрязнения в водоносном горизонте $C_2 pd-mc$ и характеристика минерализации ($г/дм^3$) и напоры (абс. м) подземных вод



Рис. 6.3. Распределение наиболее значимых аномалий загрязнения в водоносном горизонте $C_1 ok-pr$ и характеристика минерализации ($г/дм^3$) и напоры (абс. м) подземных вод

**Характеристика наиболее значимых аномалий загрязнения
 в горизонтах карбона (2000 г.)**

Гидрогеологическое положение аномалий	Показатели аномалий	Проявление аномалий в горизонтах карбона				
		А	Б ///	В ≡	Г \\\	Д ххх
C ₃	ΣМ воды, г/дм ³	≈1,25	0,85–1,25	0,85–1,25	>0,85	–
	Уровень воды, абс.м	115–120	115–120	120–130	115–120	–
C ₂	ΣМ воды, г/дм ³	>0,95	>0,95	0,8–0,95	>0,8	>0,7
	Уровень воды, абс.м	<80	<100	<90–100	<80–70	<100
C ₁	ΣМ воды, г/дм ³	>1,0	>0,65	–	>0,9	–
	Уровень воды, абс.м	≈60	<60	–	<60	–



Рис. 6.4. Распределение наиболее значимых аномалий загрязнения в водоносных горизонтах карбона территории г. Москвы

2. Площади распространения районов с аномалиями загрязнения в разрезе повторяют друг друга, так что к настоящему времени сформировалось загрязнение подземных вод, охватывающее на разных участках г. Москвы то или иное число горизонтов карбона.

3. По охвату подземных вод горизонтов карбона загрязнением в виде аномалий выделяются: а) районы, в пределах которых загрязнение подземных вод прослеживается по всему разрезу карбона (А, Б, Г; см. рис. 6.4); б) районы, в пределах которых аномалии загрязнения отсутствуют в водоносном горизонте нижнего карбона (В, Д; см. рис. 6.4); в) район, в пределах которого аномалии загрязнения сформированы в среднем карбоне (Д; см. рис. 6.4).

4. Источниками загрязнения подземных вод, образующих аномалии в разрезе карбона, являются преимущественно техногенные наземные объекты, атмосфера в виде атмосферных осадков, пылевых частиц и газов; породы зоны аэрации; грунтовые воды; поверхностные воды.

5. Загрязнению подземных вод карбона существенно способствуют такие факторы, как гидрогеологические окна и глубоко погруженные части местных воронок депрессии (рис. 6.5).



Рис. 6.5. Наиболее значимые факторы: гидрогеологические окна; глубокие части местных воронок депрессии

Общий вывод по проблеме загрязненности вод карбона может быть таким: если при зарождении контаминационной гидрогеологии за-

дачей было изучение загрязнения отдельных эксплуатационных скважин, затем групповых водозаборов, потом целых месторождений подземных вод, то в настоящее время мы можем, к сожалению, констатировать: Москва превратилась в региональный очаг загрязнения крупнейшей гидрогеологической структуры — Московского артезианского бассейна.

6.3. О ГРУНТОВЫХ ВОДАХ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДОВ КАК О ЗНАЧИМОМ ИСТОЧНИКЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ВЕРХНЕЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Участие грунтовых вод в формировании состава вод горизонтов карбона на территории г. Москвы в общем виде подтверждается [16]:

а) идентичностью границ распространения на территории г. Москвы в грунтовом водоносном горизонте и горизонтах карбона вод регионального и локального загрязнения;

б) идентичностью распространения в грунтовых водах и водах горизонтов карбона главных компонентов-загрязнителей;

в) превышением минерализации грунтовых вод и концентраций в них однотипных компонентов-загрязнителей над водами горизонтов карбона.

Сравнительный анализ гидрогеохимических условий подземных вод нерасчлененных отложений карбона и грунтового водоносного горизонта показал следующее:

1) в подземных водах карбона воды HCO_3CaMg состава имеют минерализацию до $0,3 \text{ г/дм}^3$; в грунтовых водах — до $0,5 \text{ г/дм}^3$. Более широкая представительность этих вод в грунтовом водоносном горизонте объясняется тем, что углерод в гидрокарбонат-ионе в них имеет органическую природу, связанную с загрязнением в большей степени, чем подземные воды карбона;

2) подземные воды карбона с минерализацией, превышающей $0,3 \text{ г/дм}^3$, и грунтового водоносного горизонта с минерализацией более $0, \text{ г/дм}^3$ сходны по компонентному составу в целом и по сульфатам и хлоридам в частности. Поскольку в грунтовых водах сульфаты и хлориды в значительной части являются результатом загрязнения, то количественно идентичные по этим компонентам воды карбона смешиваются с грунтовыми водами, которые их загрязняют.

Влияние грунтовых вод на химический состав вод карбона отмечено по результатам ряда проработок, свидетельствующих:

а) о близком составе грунтовых вод и вод горизонтов карбона, формирующихся в условиях, близких к природным;

б) о существенном (до 10 г/дм^3 и более) превышении минерализации грунтовых вод над минерализацией вод карбона в условиях загрязнения;

в) об идентичном распределении в водах грунтового водоносного горизонта и горизонтов карбона главного показателя загрязнения — хлоридов;

г) об идентичности изменений в соотношениях компонентов-загрязнителей в подземных водах грунтового водоносного горизонта и горизонтов карбона.

Сравнение состояния по карбонатному и сульфатному равновесиям грунтовых вод и вод водоносных горизонтов карбона осуществлено по индексам насыщения кальцитом (SI_C), гипсом (SI_G) и P_{CO_2} :

Сравнительный анализ характера насыщенности вод карбона и грунтовых вод по кальциту позволил выявить следующие положения, доказывающие связь вод карбона с грунтовыми водами:

1) подземные воды карбона аналогично грунтовым водам перенасыщены по кальциту. Однако существенное перенасыщение в водах карбона наблюдается при минерализации более $0,3$, а в грунтовых водах — при минерализации более $0,5 \text{ г/дм}^3$.

2) воды, перенасыщенные по кальциту и характеризующиеся относительно пониженными величинами парциального давления углекислого газа в грунтовом водоносном горизонте и в горизонтах карбона, приурочены к областям преимущественного их питания атмосферными осадками.

Особенности распределения подземных вод в грунтовом водоносном горизонте с позиций карбонатного равновесия объясняются значительным участием в его формировании углекислоты атмосферного и биогенного генезиса, образующейся при окислении органических компонентов-загрязнителей. Идентичный грунтовым водам характер распределения на территории г. Москвы показателей карбонатного равновесия в водах карбона свидетельствует об их взаимосвязи.

Далее:

1. Подземные воды каменноугольных отложений и грунтовые воды недонасыщены по гипсу. Наиболее значительное недонасыщение по гипсу, превышающее величины -2 , характерно для грунтовых вод с минерализацией около $0,3 \text{ г/дм}^3$, а для подземных вод каменноугольных отложений — с минерализацией $0,5 \text{ г/дм}^3$ и более. То есть степень недонасыщения по гипсу более существенна для подземных вод каменноугольных отложений, что можно объяснить меньшим их загрязнением по сравнению с загрязнением грунтовых вод.

2. Сравнительный анализ данных по насыщению вод карбона и грунтовых вод гипсом свидетельствует о влиянии грунтовых вод на воды карбона относительно сульфатного равновесия, и это подтверждается как недонасыщением и вод карбона, и грунтовых вод по гипсу, так и большими величинами недонасыщения по гипсу вод карбона по сравнению с грунтовыми в сходных гидрогеологических условиях: так в целом индекс насыщения по гипсу вод карбона — от $-2,4$ до $-2,0$; вод грунтовых — от $-2,0$ до $-1,0$ и ниже, т.е. грунтовые воды более загрязнены сульфатом.

Воды каменноугольных отложений недонасыщены по гипсу до $-1,6$ — в 25%, а до $-2,0$ — в 15% проб. Грунтовые воды, недонасыщенные по гипсу до тех же величин, имеют место только в 4,5% и в 2% проб соответственно, что указывает на большее загрязнение грунтовых вод сульфатом по сравнению с водами каменноугольных отложений.

6.4. О ПРЕОБЛАДАЮЩЕЙ РОЛИ В ФОРМИРОВАНИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАРБОНА ИНФИЛЬТРАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ РАСТВОРОВ СВЕРХУ

Источники питания подземных вод карбона в Москве сверху преимущественно представлены загрязненными атмосферными осадками, загрязненными грунтовыми водами, инфильтровавшимися сквозь почвы и породы зоны аэрации [14, 16].

Это подтверждается и обуславливается:

а) нисходящим характером перетекания, т.е. уменьшением величин напоров подземных вод от грунтового горизонта к горизонтам C_3 , C_2 , C_1 последовательно (рис. 6.6);

б) уменьшением минерализации подземных вод от грунтового водоносного горизонта к горизонтам карбона, а в них — от C_3 к C_2 и C_1 по данным конкретных скважин за 1972 и 2000 гг. (рис. 6.7);

в) меньшими величинами минерализации подземных вод горизонта C_1 по сравнению с горизонтом C_2 по ряду конкретных скважин за 1972 и 2000 гг. (рис. 6.8);

г) наличием в задано-елецком водоносном горизонте на территории Калуги скважин, в которых распределение компонентов в подземных водах указывает на влияние перетока в задано-елецкий горизонт вод из горизонтов карбона. Это влияние выражено в уменьшении минерализации, концентраций ионов сульфата, хлорида и натрия и увеличении концентраций гидрокарбонат-иона и метана (рис. 6.9).

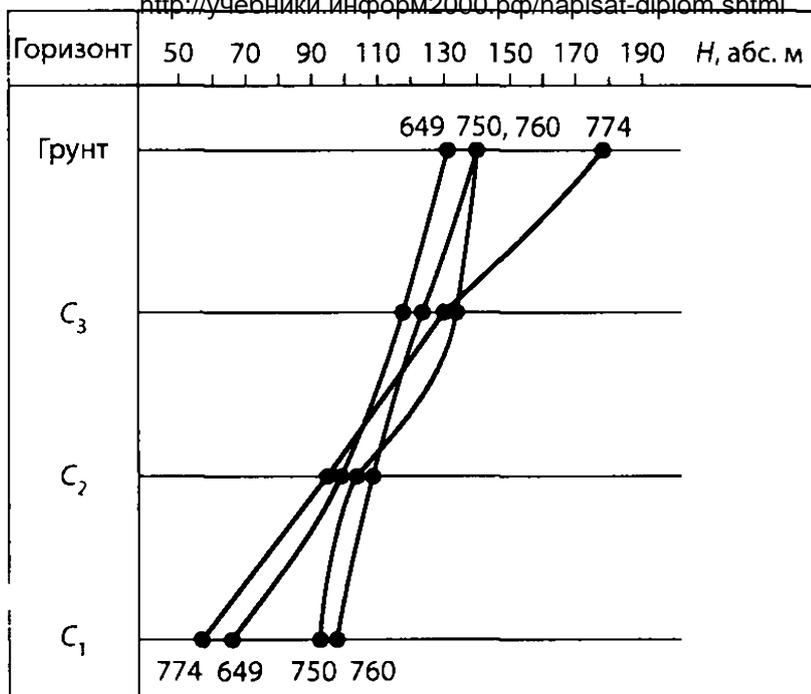


Рис. 6.6. Распределение напоров подземных вод в водоносных горизонтах карбона г. Москвы

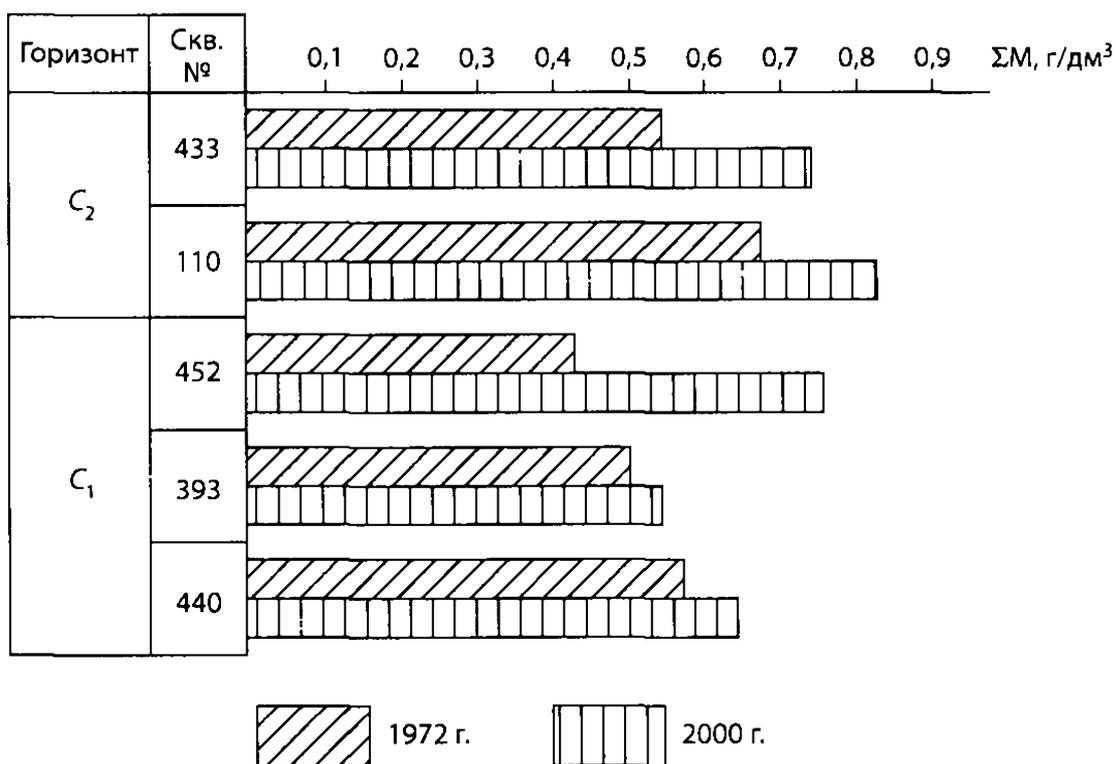


Рис. 6.7. Распределение минерализации подземных вод в водоносных горизонтах C₂ и C₁ г. Москвы

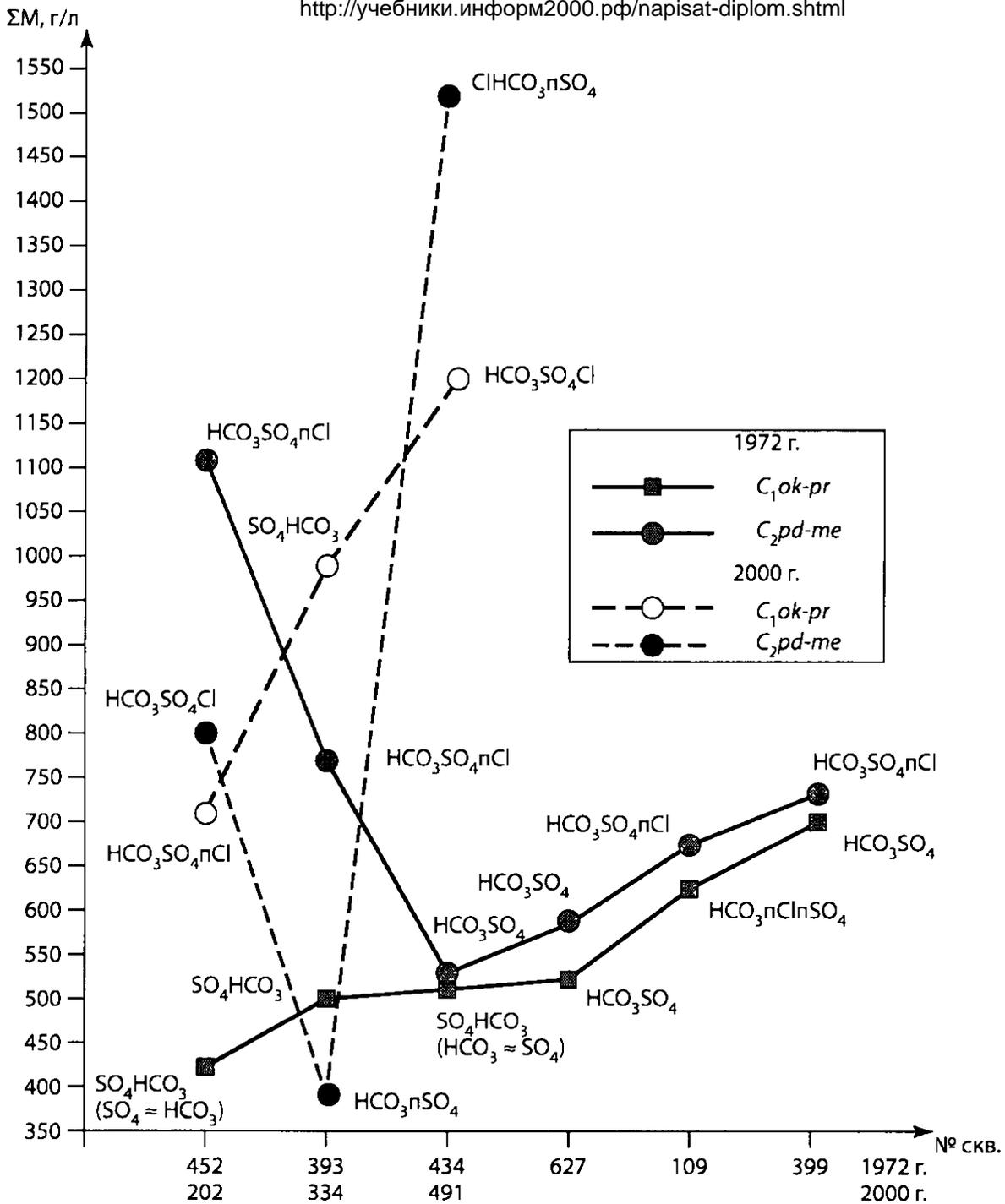


Рис. 6.8. Сравнение химического состава подземных вод водоносных горизонтов C_{2pd-me} и C_{1ok-pr} по данным 1972 и 2000 гг.



Рис. 6.9. Закономерности распределения минерализации и микрокомпонентов в подземных водах задано-елецкого горизонта территории г. Калуги и его окрестностей

6.5. О РОЛИ ПРОЦЕССА СМЕЩЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Механизм загрязнения подземных вод зачастую весьма сложен и до конца не исследован. Задача прогнозирования загрязнения подземных вод может быть поставлена разными способами [14, 16].

При больших скоростях потока подземных вод (например, в закарстованном массиве) поступающие из зоны струйки (в режиме ламинарной инфильтрации) или капли (в режиме дождевания) поглощаются потоком воды относительно просто и перемешивание идет за счет турбулентности. Подобные условия формирования загрязнения существуют в эксплуатируемых для питьевого водоснабжения горизонтах карбона в гидрогеологических окнах. На профильных схемах таких потоков характерный купол на поверхности потока не формируется, поступающим сверху питанием можно пренебречь, так как оно несоизмеримо мало в сравнении с расходом потока.

Во многом сходный характер смещения формируется и при поступлении в поток пресных грунтовых вод минерализованных, более плотных растворов. Струйки более плотной жидкости «проваливаются» сквозь ламинарный поток, перемешивая его, и быстро достигают водоупорной подошвы. Такие процессы протекают под свалками и под подземными водонесущими коммуникациями, из которых поступает фильтрат или минерализованные промстоки.

При обычных, т.е. малых, скоростях потока и ламинарном характере основного и инфильтрующегося потоков формируется купол, свидетельствующий о существенном питании грунтового потока. В зоне контакта обоих потоков каждая элементарная струйка загрязненного питающего потока начинает взаимодействовать с элементарными струйками грунтового потока двумя способами. Во-первых, чисто механически складываются векторы перемещения частиц в обоих потоках, что приводит к формированию их диагональных траекторий. Во-вторых, далее смещение будет проходить по известным схемам поршневого вытеснения, молекулярной диффузии и гидродисперсии. Сложность постановки и решения определяется незнанием фильтрационных и миграционных параметров такого движения смешивающегося потока.

В потоке формируются смеси пониженной или повышенной по сравнению с фоном минерализации, образующие поле рассеяния со значительной гидрогеохимической неоднородностью. Она оконтуривается границей, величина минерализации вод в пределах которой соответствует минимальным, промежуточным или макси-

мальным значениям минерализации смесей в пределах техногенного поля. Неоднородность минерализации смесей обуславливается сосредоточением в пределах техногенных объектов целого ряда установок со своеобразным составом стоков, а также фильтрационной неоднородностью пород.

Формирование смесей пониженной или повышенной относительно природного гидрогеохимического фона минерализацией обусловлено соотношением величин минерализации и расходов смешивающихся потоков.

Предлагается решение задачи, подтверждающей смешение подземных вод со стоками и заключающейся в сопоставлении массовых расходов двух потоков в смешивающихся лентах (трубках) тока. Массовый расход — произведение расхода ленты (трубки) тока на концентрацию загрязняющего вещества. Именно сравнение массовых расходов дает возможность объективно судить о значимости процесса загрязнения.

6.6. О СТАДИЙНОСТИ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА В ТЕХНОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Для краткости целесообразно указать на три этапа формирования состава подземных вод в техногенных условиях (рис. 6.10) [16].



Рис. 6.10. Многолетний техногенный режим минерализации и уровня подземных вод в районе *N*

Первый, начальный этап характеризуется резко выраженным подъемом уровня и соответствующим уменьшением глубин залегания подземных вод; возрастанием градиентов напора и скоростей фильтрации вод; существенной изменчивостью температуры воды; изменением естественной структуры потоков; существенным изменением минерализации вод и концентрации в них главных компонентов и в целом значительной неоднородностью происходящих изменений.

На втором, промежуточном этапе сохраняются все сформированные на начальном этапе виды преобразования природных условий, но они в той или иной степени замедляются.

Третий, завершающий этап формирования техногенных условий характеризуется постоянством режима, положения границ распространения техногенных гидрогеологических изменений и близок к стационарному. Это означает, что стационарный режим наступает

после того, как произошли основные техногенные изменения в этой области (участке) (см. рис. 6.10).

В случае незавершенного формирования техногенных гидрогеохимических условий построение диаграммы многолетнего техногенного режима даст возможность его спрогнозировать.

6.7. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Наиболее достоверными и информативными границами подземных вод, состав которых формируется техногенным и естественным путем, являются те, которые устанавливаются по натурным данным [16, 21]. Натурные данные могут быть представлены минерализацией подземных вод или же концентрацией любого компонента их состава, напорами подземных вод, глубиной залегания и пр.

Методический прием при установлении границ — сравнительный анализ величин выбранных параметров подземных вод, сформированных (или формирующихся) в техногенных и природных условиях. Показателем местоположения границы является нулевое значение разности между величинами выбранных параметров подземных вод, сформированных в техногенных условиях, и величинами тех же параметров, сформированных в естественных условиях:

$$\Delta M = M_{\text{техн}} - M_{\text{ест}} = 0 \text{ (г/дм}^3\text{)}.$$

Граница между площадями, занятыми подземными водами техногенного и естественного формирования, проводится через местоположение скважин с нулевыми отметками по ΔM или Δ концентрации выбранного компонента. Такого рода границей оконтуриваются подземные воды техногенной области.

Подземные воды техногенного или естественного формирования при характеристике их пространственного положения условно именуется гидрогеохимическими областями.

Помимо границы между областями подземных вод техногенного и естественного формирования, подобным же образом устанавливаются границы между подобластями в пределах техногенной области, характеризующимися различной интенсивностью техногенной нагрузки и другими техногенными явлениями и процессами.

Таким образом, в пределах водоносных комплексов (горизонтов), подверженных техногенному влиянию в результате загрязнения, формируется структура первого порядка, условно называемая техногенной областью, или областью загрязненных подземных вод.

В пределах техногенной области выделяются структуры второго порядка: а) подобласть регионального загрязнения подземных вод; б) подобласть локального загрязнения подземных вод.

Основными показателями отнесения подземных вод к регионально или локально загрязненным является характер распределения концентраций компонентов-загрязнителей в подземных водах и величины минерализации воды. Так, концентрация компонентов-загрязнителей в подземных водах регионального загрязнения закономерно возрастает по направлению фильтрационного потока; в подземных водах локального загрязнения распределение сложное, не подчиняющееся указанной закономерности.

Загрязненные подземные воды локального распространения строго оконтурены в самостоятельные участки, фоном которых являются регионально загрязненные подземные воды.

В пределах подобласти локально загрязненных подземных вод первого порядка на основании своеобразия распределения компонентов-загрязнителей вблизи источников загрязнения и в удалении от них выделяются участки: а) в границах соответствующих инфильтрации загрязненных растворов от источников загрязнения; б) участки, соседствующие с первыми.

Для первых характерно: инфильтрационное техногенное питание от точечных источников загрязнения; максимальные уровни и минимальные глубины залегания подземных вод, образующих купола подтопления; минимальные или максимальные величины минерализации и концентрации компонентов; относительно повышенные скорости техногенной фильтрации вод вследствие возрастающего напорного градиента; микронеоднородность поля минерализации и другие техногенные показатели.

Для вторых характерно: отсутствие фильтрационного техногенного питания; распространение смесей подземных вод с загрязненными растворами техногенными потоками в направлениях от участков формирования смесей; пониженные скорости фильтрации и напорные градиенты техногенных потоков относительно первых участков; изменения минерализации и концентрации компонентов до их значений, соответствующих подземным водам естественного формирования.

На основании изложенного выделяются подобласти второго порядка: внутренняя — формирование смесей и внешняя — распространение смесей техногенными потоками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авилова К.В., Орлов М.С.* Экологические экскурсии по Москве. Пособие для средней школы. — М.: Экология, 1994.
2. *Валяшко М.Г., Власова Е.В.* К вопросу о боратных комплексах в водных растворах. — М.: Вестник МГУ, сер. Геология, 1967. № 3.
3. *Гольдберг В.М.* Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. — Л.: Гидрометеиздат, 1987.
4. *Дривер Дж.* Геохимия природных вод. — М.: Мир, 1985.
5. *Зверев В.П., Костинова И.А.* Седиментационные воды Каспийского осадочного бассейна. — М.: Научный мир, 2008.
6. *Зверев В.П.* Вода в земле. — М.: Научный мир, 2009.
7. Инженерная защита окружающей среды: Учеб. пособие / Под ред. О.Г. Воробьева. — СПб.: Лань, 2002.
8. *Казаков Л.К.* Ландшафтоведение. — М.: Изд-во МНЭПУ, 2004.
9. *Косинова И.И., Богословский В.А., Бударина В.А.* Методы эколого-геохимических и эколого-геофизических исследований, рациональное недропользование. — Воронеж: Изд-во ВГУ, 2004.
10. *Крайнов С.Р., Швец В.М.* Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. — М.: Недра, 1987.
11. *Курбатова А.С., Башкин В.Н., Касимов Н.С.* Экология города. — М.: Научный мир, 2004.
12. Методическое руководство по созданию экологического мониторинга за гидрогеологическими и гидрологическими условиями в районах месторождений газовой промышленности / Сост. К.Е. Питьева, И.Г. Меламед, М.М. Чеховских. — М.: ИРЦ Газпром, 1993.
13. Москва: геология и город / Под ред. В.И. Осипова и О.П. Медведева. — М.: Московские учебники и Картолитография, 1997.
14. *Орлов М.С.* Геоэкологическое обоснование строительства (на примере г. Москвы): Учеб. пособие. — М.: Изд-во ГАСИС, 2004.
15. *Петров В.Г.* Геологическое строение и полезные ископаемые Калужской области. — Калуга: Эйдос, 2003.
16. *Питьева К.Е.* Гидрогеохимические аспекты охраны геологической среды. — М.: Наука, 1984.
17. *Питьева К.Е.* Гидрогеохимия. — М.: Изд-во МГУ, 1988.
18. *Питьева К.Е., Волохова Е.В.* Химический состав пород сезонно-талого слоя территории Тазовского р-на Западной Сибири. — М.: ИРЦ Газпром, 1996.
19. *Питьева К.Е.* Гидрогеоэкологические исследования в районах нефтяных и газовых месторождений. — М.: Недра, 1999.
20. *Питьева К.Е.* Теоретическое обоснование использования адсорбированных газообразных углеводородов в качестве индикаторов техногенной нарушенности природных сред на примере территории Орен-

бургского нефтегазоконденсатного месторождения. — М.: ИРЦ Газпром, 2000.

21. *Питьева К.Е., Тютюнова Ф.И., Гоман А.В.* Формирование гидрогеохимических структур в условиях эксплуатации нефтегазовых месторождений на территории Прикаспийского артезианского бассейна // Южно-российский вестник геологии, географии, и глобальной энергии. — Астрахань: Астраханский Университет, 2007. № 1 (25). С. 62–66.
22. *Ратанова М.П.* Экологические основы общественного производства. — Смоленск: Изд-во СГУ, 1999.
23. *Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю.* Методы анализа природных вод. — М.: Недра, 1970.
24. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г.* Теоретические основы экологической геологии. — М.: Изв. РАЕН. Секция наук о Земле, 1998, спецвыпуск. С. 50–70.
25. *Трофимов В.Т. и др.* Экологические функции литосферы. — М.: Изд-во МГУ, 2000.
26. *Шварцев С.Л.* Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода: В 5 т. Т. 1: Система вода — порода в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005.
27. *Шварцев С.Л. и др.* Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода: В 5 т. Т. 2. Система вода — порода в условиях зоны гипергенеза. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007.
28. *Швец В.М.* Органические вещества подземных вод — М.: Недра, 1973.
29. *Швец В.М., Лисенков А.Б., Попов Е.В.* Родники Москвы. — М.: Научный мир, 2002.
30. Экология, охрана природы и экологическая безопасность: Учеб. пособие. — М.: Изд-во МНЭПУ, 1997.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	7
1. Проблемы гидрогеоэкологического состояния городов	11
1.1. Особенности экологической обстановки в городах	11
1.2. Возмущающее воздействие на подземные воды городов	14
1.3. Гидрогеологическая защищенность подземных вод от техногенных нагрузок в условиях городов	32
2. Методы и методики исследований гидрогеоэкологических условий городов	48
2.1. Методика геоэкологического зонирования городов	48
2.2. Естественно-исторический анализ — основа эколого-гидрогеохимических исследований	54
2.3. Определение фоновых и аномальных концентраций компонентов в подземных водах	85
2.4. К методике анализа пород, обработки результатов анализа и их интерпретации	90
2.5. Рекомендуемые обязательные виды аналитических работ	94
2.6. Газообразные сорбированные углеводороды как индикатор загрязнения подземных вод	96
2.7. Пример исследования загрязнения атмосферного воздуха по данным углеводородного состава	105
3. Гидрогеоэкология территории г. Москвы	108
3.1. Строение верхней гидродинамической зоны	108
3.2. Гидрогеоэкологическое состояние	113
3.3. Атмосферные осадки	126
3.4. Поверхностные воды	135
3.5. Грунтовые воды	141
3.6. Подземные воды водоносных горизонтов карбона	168
4. Гидрогеоэкология городов Калужской области	196
4.1. Распределение техногенной нагрузки на подземные воды Калужской области	196
4.2. Гидрогеоэкология территории г. Калуги и его окрестностей	199
4.3. Современные гидрогеохимические условия территории городов северо-восточной части Калужской области на примере окско-тарусского водоносного горизонта	241

5. Гидрогеоэкологический мониторинг городов	244
5.1. Научное обоснование мониторинга	244
5.2. Проектирование мониторинга	253
5.3. Содержание гидрогеохимической части гидрогеоэкологического мониторинга	257
6. Заключительные положения	268
6.1. О мерах по улучшению гидрогеоэкологического состояния в Москве	268
6.2. О закономерностях распределения загрязненных подземных вод в городах (на примере г. Москвы)	272
6.3. О грунтовых водах на территории городов как о значимом источнике загрязненной подземных вод верхней гидродинамической зоны	275
6.4. О преобладающей роли в формировании загрязненных подземных вод карбоната инфильтрации техногенных растворов сверху	277
6.5. О роли процесса естественного формирования подземных вод	280
6.6. О стадийности гидрогеохимического режима в техногенных условиях	281
6.7. Пространственно-временные гидрогеохимические модели городских территорий	282
Список литературы	284



Приложения к разделам 3, 4, 6

УЧЕБНИКИ, ДИПЛОМЫ, ДИССЕРТАЦИИ -
полные тексты

На сайте электронной библиотеки
www.учебники.информ2000.рф

НАПИСАНИЕ на ЗАКАЗ:

1. Диссертации и научные работы
2. Дипломы, курсовые, рефераты, чертежи...
3. Школьные задания

Онлайн-консультации

ЛЮБАЯ тематика, в том числе ТЕХНИКА

Приглашаем авторов

По вопросам приобретения книг обращайтесь:
Отдел продаж «ИНФРА-М» (оптовая продажа):
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31в, стр. 1
Тел. (495) 380-4260; факс (495) 363-9212
E-mail: books@infra-m.ru

•
Отдел «Книга—почтой»:
тел. (495) 363-4260 (доб. 232, 246)

Учебное издание

*Михаил Сергеевич Орлов
Клара Ефимовна Питьева*

ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЯ ГОРОДОВ

Учебное пособие

Оригинал-макет подготовлен в НИЦ ИНФРА-М

Подписано в печать 25.02.2013.

Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Newton.

Усл. печ. л. 18,0. Уч.-изд. л. 19,44 + 2,12 ЭБС.

Тираж 500 экз. Заказ № 2258.

ТК 215800-11722-250213

ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»

127282, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1

Тел.: (495) 380-05-40, 380-05-43. Факс: (495) 363-92-12.

E-mail: books@infra-m.ru <http://www.infra-m.ru>



Отпечатано в ОАО «Можайский полиграфический комбинат»

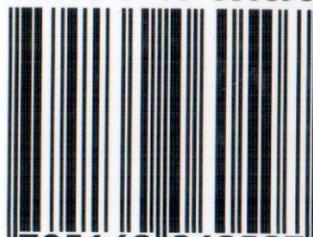
143200, г. Можайск, ул. Мира, 93

www.oaompk.ru, www.oaompk.ru тел.: (495) 745-84-28, (49638) 20-685

ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЯ ГОРОДОВ

*М.С. Орлов
К.Е. Питьева*

ISBN 978-5-16-006050-7



9 785160 060507