

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ И ФИЗИКИ МИНЕРАЛОВ

На правах рукописи

АБРАМИС АЛЕКСАНДР ЯКОВЛЕВИЧ

УДК 550.46:502.65

ГЕОХИМИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД  
БОЛЬШОГО КИЕВА

Специальность: 04.00.02 - геохимия

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Киев - 1992

50.4

ЛНБ ім. В. Стефаника



00330587 (Q)

Работа выполнена в Отделе ~~радиотехники~~ ~~геохимии~~ ~~геологии~~ ~~физики~~ ~~минералов~~ ~~АН~~ ~~Украины~~.  
Института геохимии и физики минералов АН Украины.

Научный руководитель:  
член-корреспондент АН Украины Э.В.Соботович  
/ИГФМ АН Украины/

Официальные оппоненты:  
доктор геолого-минералогических наук Э.Я.Жовинский  
/ИГФМ АН Украины/

кандидат геолого-минералогических наук Г.В.Лисиченко  
/МП "Интеррадиоэко"/

Ведущая организация: Геологический факультет Киевского  
государственного университета.

Защита состоится "24" декабря 1992 г. в 14<sup>00</sup> часов  
на заседании Специализированного совета Д.016.17.01 при Институте  
геохимии и физики минералов АН Украины по адресу: 252142, г.Киев-  
142, пр.Палладина, 34, ИГФМ АН Украины.

С диссертацией можно ознакомиться  
в библиотеке ИГФМ АН Украины.

Автореферат разослан "14" ноября 1992 г.

Ученый секретарь  
Специализированного совета  
доктор геолого-минералогических наук  В.П.Семененко

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. В последние десятилетия происходит значительный рост антропогенного воздействия на окружающую среду. Особенно сильно это воздействие проявляется в крупных городах, одним из которых является Киевская промышленно-селитебная агломерация. На территории города /около 400 км<sup>2</sup>/ размещено множество источников загрязнения объектов окружающей среды, в том числе первых от поверхности водоносных горизонтов. Сколо 40% площади г.Киева расположено в долине р.Днепр, где грунтовые воды характеризуются скоростями горизонтальной фильтрации ниже 0,01 м/сутки. В таких условиях эффективное площадное развитие ореолов рассеяния от локальных источников воздействия невозможно.

Настоящая работа посвящена проблемам техногенных изменений химического состава подземных вод урбанизированной территории и проблеме формирования площадных техногенных гидрогеохимических аномалий в условиях низких скоростей горизонтальной фильтрации. В настоящее время эти проблемы слабо разработаны. Поэтому, данная работа является весьма актуальной.

Цель работы. Изучение геохимии вод гервых от поверхности водоносных горизонтов территории Киева в естественных условиях и в условиях техногенного воздействия на эти воды.

Задачи работы. 1. Разработка принципов классификации природно-техногенных вод для территории Киева.

2. Выявление на территории города вод техногенной метаморфизации в первых от поверхности водоносных горизонтах. Фиксация локальных и площадных техногенных гидрогеохимических аномалий, определение их структуры и генезиса.

3. Изучение процессов формирования и эволюции площадных техногенных гидрогеохимических аномалий на участках с низкими скоростями горизонтальной фильтрации.

Сведения о фактическом материале. Фактический материал собран автором в процессе работы в геолого-экологическом отряде Киевской геологоразведочной экспедиции ПГО "Севукргеология" по изучению техногенного загрязнения пород зоны аэрации и подземных вод территории г.Киева и прилегающих районов с 1983 по 1990 годы. Полевые работы - опробование, измерения, полевые анализы, первичная пробободготовка, - выполнялись геолого-экологическим отрядом при непосредственном участии автора данной диссертации. Автор также принимал участие в осуществлении буровых работ. Лабораторные ра-

боты проводились в Центральной лаборатории ПГО "Севукргеология". Матобработка результатов анализов проб снежного покрова проводилась в отделе металлогении докембрия Института геохимии и физики минералов под руководством доктора геолого-минералогических наук Б.А.Горлицкого.

Защищаемые подожения. На территории г.Киева в пределах долины р.Днепр формируются площадные техногенные гидрогеохимические аномалии в грунтовых водах при скоростях горизонтальной фильтрации менее 0,01 м/сутки. Их формирование связано с площадными источниками техногенного воздействия.

1. При инфильтрации загрязненных атмосферных осадков содержания основных макрокомпонентов грунтовых вод существенно не изменяются, и не происходят значительные изменения солевого состава этих вод. В то же время может происходить значительный рост содержаний отдельных микрокомпонентов в грунтовых водах /в 2 и более раз относительно фона/ за небольшой период времени /п-10 п лет/.

2. В районах старой селитебной застройки и в промзонах происходит площадное изменение химсостава пород зоны аэрации за счет продуктов коррозии стройматериалов, что приводит к площадной доломитизации грунтовых вод. В районах старой селитебной застройки параллельно с доломитизацией происходит обогащение грунтовых вод солями натрия, калия, аммония, а поглощенного комплекса пород зоны аэрации - натрием. Процесс оканчивается содообразованием по схеме Гедройца.

Научная новизна и практическое значение работы. Разработана генетическая классификация природно-техногенных подземных вод территории Киева по химическому составу. Она позволила систематизировать гидрогеохимические данные, выявить подземные воды техногенной метаморфизации, оценить интенсивность и направленность метаморфизации. Принципы классификации могут быть применены при аналогичных исследованиях в других районах.

Впервые рассмотрены процессы и механизмы формирования площадных техногенных гидрогеохимических аномалий в грунтовых водах урбанизированной территории в условиях низких скоростей горизонтальной фильтрации. Показано, что в долинах крупных равнинных рек изучаться должны в первую очередь старье селитебные зоны, крупные промзоны и участки контрастных аномалий микрокомпонентов атмосферных выпадений.

Апробация работы. Основные положения работы обсуждались и по-

лучили одобрение на заседании Ученого Совета Отделения радиогеохимии окружающей среды Института геохимии и физики минералов АН Украины в 1991 г., докладывались на П-м международном симпозиуме "Термодинамика природных процессов" /Новосибирск, 1992 г./ . По теме диссертации опубликованы 4 работы.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, восьми глав, выводов и списка литературы в 106 наименований. Она включает 149 страниц машинописного текста, 25 таблиц, 23 иллюстрации. Общий объем работы - 235 страниц.

Автор выражает искреннюю признательность члену-корреспонденту АН Украины Э.В.Соболевичу, кандидату геолого-минералогических наук С.П.Ольштынскому за научное руководство работой, доктору геолого-минералогических наук Б.А.Горлицкому, старшему методисту Центральной лаборатории ПГО "Севургеология" С.В.Войко за содействие в выполнении работы.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава I. Основные этапы изучения и современное состояние техногенной геохимии подземных вод.

Приведен обзор методических и практических работ, посвященных проблемам загрязнения подземных вод продуктами техногенеза. Интенсивные исследования в этом направлении ведутся два последних десятилетия, но посвящены они, в основном, изменениям химического состава подземных вод в связи с разработкой месторождений полезных ископаемых, загрязнению грунтовых вод сельскохозяйственных районов, охране водозаборов подземных вод.

Особое внимание уделено анализу изученности гидрогеохимии урбанизированных территорий. Показано, что эта проблема находится в начальной стадии изучения. Имеющиеся публикации носят по большей части описательный характер, и являются результатом эпизодических или не систематических исследований. Единичные работы посвящены изучению процессов техногенной метаморфизации подземных вод урбанизированных территорий /Тютюнова Ф.И. и др., 1985; Шпаков О.Н., 1990; Зарицкий А.И. и др., 1991/. В связи со спецификой характера техногенного воздействия и процессов техногенной метаморфизации на урбанизированных территориях, показана необходимость организации гидрогеохимического мониторинга как составной части многосреднего мониторинга урбанизированных территорий.

## Глава 2. Очерк физико-географических и геолого-гидрогеологических условий территории Киева.

Отражены основные черты орографии, климата, почвенно-растительного покрова, геоморфологии, тектоники, геолого-гидрогеологического строения изучаемой территории, - факторов, оказывающих наибольшее влияние на химический состав грунтовых вод.

Территория Киева расположена на стыке трех орографических областей - Приднепровской возвышенности, Полесской и Приднепровской низменностей. Основная водная артерия - р. Днепр в зоне выклинивания подгора Каневского водохранилища. В пределах города имеется несколько малых рек - Лыбедь, Сырец, Нивка, Вита, руч. Пляховой, а также десятки озер и прудов - в основном в пойме Днепра. Климат территории умеренно-континентальный. Среднегодовое количество осадков составляет 650 мм, снежный покров наблюдается в среднем 100 дней в году при высоте 15-20 см. Зимой 1986-87 гг. устойчивый снежный покров наблюдался с 18 декабря по 18 марта, имея среднюю высоту 17 см. Почвенный покров на большей части территории города изменен хозяйственной деятельностью человека.

В гидрогеологическом строении территории Киева выделяются следующие водоносные горизонты и комплексы: аллювиальных верхнечетвертичных и современных отложений; водно-ледниковых и золоводолювиальных среднечетвертичных отложений; Полтавской свиты неогена; Бучакской свиты палеогена; сеноман-келловейских отложений; байосских отложений. Последние два горизонта являются эксплуатационными. Активный водообмен отмечается до кровли триасового регионального водоупора.

Особое внимание уделено характеристике первых от поверхности водоносных горизонтов.

Водоносный горизонт аллювиальных верхнечетвертичных и современных отложений долины Днепра распространен на левобережье повсеместно, а на правобережье - на Подоле и Оболони в пределах поймы и I надпойменной террасы Днепра, и на участке Корчеватое-Теличка-Чапаевка - в пределах поймы Днепра. Средняя мощность горизонта - 20-25 м. Горизонт подстилается водоупорной толщей Киевской свиты, а на участках ее размыва объединен с водоносным горизонтом Бучакской свиты. Для верхней части разреза горизонта, средней мощностью 10 м, наиболее характерны коэффициенты фильтрации 4-8 м/сутки. Статические уровни составляют в среднем 3-6 м в пойме и 7-8 м в пределах I надпойменной террасы. Гидравлические уклоны направлены в сторону русла Днепра и составляют 0,0001-0,001, скорос-

ти горизонтальной фильтрации, по расчетам автора, составляют 0,001-0,01 м/сутки. Воды данного водоносного горизонта не защищены.

Водоносные горизонты аллювиальных верхнечетвертичных и современных отложений долин малых рек имеют мощность 5-10 м, коэффициенты фильтрации - 1-3 м/сутки. Статические уровни составляют в среднем 3 м. В гидродинамическом отношении это грунтовые потоки, направленные вдоль русел рек, с гидравлическими уклонами от 0,02-0,03 в верховьях до 0,002-0,005 в нижнем течении. Расчетные скорости горизонтальной фильтрации составляют 0,003-0,05 м/сут. Эти воды также не защищены.

Водоносный комплекс водно-ледниковых и эолово-делювиальных отложений среднечетвертичного возраста распространен в пределах моренно-зандровой равнины и лессового плато. Общая мощность водоносных отложений составляет 2-24 м, средний коэффициент фильтрации - 2 м/сутки. Статические уровни варьируют от 4,5 до 17 м. Областями разгрузки являются долина Днепра, долины малых рек и оврагов. Гидравлические уклоны составляют от 0,001-0,002 в областях питания до 0,03-0,1 и более в областях разгрузки. В пределах лессового плато, на площадях распространения мощных покровных лессовидных суглинков, воды описываемого комплекса можно отнести ко П-ой категории естественной защищенности.

Таким образом, наиболее подверженными техногенному воздействию являются воды водоносных горизонтов речных долин. При этом в долине Днепра для формирования площадных гидрогеохимических аномалий необходимы площадные источники техногенного воздействия.

### Глава 3. Методика изучения геохимии вод первых от поверхности водоносных горизонтов на территории Киева.

Для решения поставленных задач исследовался гидрогеохимический режим первых от поверхности водоносных горизонтов, состав и интенсивность атмосферных выпадений на территории Киева, а кроме того - катионно-анионный состав водных вытяжек из почв. Таким образом, получены данные не только о химическом составе вод изучаемых водоносных горизонтов и его изменениях во времени, но и о площадном поступлении загрязнителей в зону аэрации и водоносные горизонты.

Режимные гидрогеохимические наблюдения проводились по сети водопунктов с 1983 по 1991 годы. Они включали измерения уровня и температуры воды и гидрогеохимическое опробование. Систематические ежеквартальные наблюдения проводились по водопунктам, испытывающим значительные вариации исследуемых параметров, а также по

опорным фоновым водопунктам. Остальные водопункты наблюдались раз в год или эпизодически. Всего было использовано 193 водопункта: 113 гидрогеологических скважин, 67 колодцев и 13 родников, из которых отобрана 1551 проба воды. В спектр изучаемых компонентов химического состава входили макрокомпоненты, тяжелые металлы, фтор, мышьяк, СПАВ, фенолы.

Для исследования атмосферных выпадений зимой 1985-86 гг. было проведено опробование снежного покрова на территории Киева. В основу опробования положена методика, разработанная в Институте минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов /ИМГРЭ/. Опробование производилось во второй половине зимы по сети 1 x 1 км, с ее сгущением в промышленных районах и на участках с интенсивным движением транспорта. Общее количество точек опробования составило 680. Кроме того, было произведено определение загородного фона параметров атмосферных выпадений. Для этого отобрано 45 проб по четырем профилям, каждый из которых располагался в 25 км от границ города на одном из четырех взаимно перпендикулярных направлений. Пробы снежного покрова разделялись на жидкую /снеговая вода/ и твердую /пыль/ составляющие. Все пробы отделенной пыли анализировались спектральным анализом. Анализировались также 60% проб отделенной снеговой воды - полевым анализом основных макрокомпонентов и спектральным анализом сухого остатка. 10% из этих проб анализировались также полным химанализом.

Опробование почвогрунтов на катионно-анионный состав водных вытяжек было выполнено на всей территории города в 1982-83 гг. Оно производилось в интервале глубин 0-0,2 м по профилям, проходящим через все основные ландшафтные сопряжения города. Всего опробовано 717 точек.

#### Глава 4. Атмосферные выпадения на территории Киева, их интенсивность и загрязнение.

Изложены результаты опробования снежного покрова территории Киева. Выявлены особенности распределения различных компонентов атмосферных выпадений по площади города, степень загрязнения этими компонентами твердых и жидких выпадений, общие закономерности распределения микрокомпонентов в твердом и жидком выпадении.

Фоновые содержания макрокомпонентов в пределах города не более чем в 1,5 раза выше таковых и пригородной зоне. Средние содержания в пригородной зоне существенно выше средних для зоны достаточного увлажнения Европейской части СНГ и Прибалтики: хлорид-иона - в 4 раза, аммоний-иона - в 3 раза, нитрат- и кальций-ионов

- в 2-2,5 раза, гидрокарбонат-иона - в 1,5 раза. Загрязнение макрокомпонентов снеговой воды проявляется в повышении минерализации, и здесь имеется 2 тенденции: 1/ за счет гидрокарбоната /в отдельных случаях - сульфата/ кальция /гидрокарбонатная минерализация/; 2/ за счет хлорида натрия, реже кальция, аммония /хлоридная минерализация/.

Анализ карт распределения гидрокарбонат- и хлорид-ионов по территории города показывает, что аномалии гидрокарбонатной минерализации связаны с растворением карбонатов цементной пыли на участках стройиндустрии, а аномалии хлоридной минерализации - с растворением компонентов выбросов предприятий органического синтеза после фотодеструкции хлорорганических соединений.

Городской фон пылевой нагрузки /19000 кг/км<sup>2</sup>.год/ в 4 раза выше фона пригородной зоны /загородного фона/ /5000 кг/км<sup>2</sup>.год/. В пределах города пылевая нагрузка достигает 150-300 тыс.кг/км<sup>2</sup>.год. Аномалии пылевой нагрузки тяготеют к промзонам и участкам интенсивного движения транспорта.

Путем сравнения фоновых модулей техногенного давления вещества в пределах города и в пригородной зоне сделан следующий вывод: в пригородной зоне в жидком виде выпадает втрое больше вещества, чем в твердом /15800 кг/км<sup>2</sup>.год и 5000 кг/км<sup>2</sup>.год/, а в городе эти величины почти равны между собой /23000 кг/км<sup>2</sup>.год и 19000 кг/км<sup>2</sup>.год/.

В 1985-86 гг. в Киеве выпадало вещества за год: в жидком выпадении - 14000 т; в твердом выпадении - 12000 т; общее количество выпавшего вещества - 26000 т, что составило 25% суммарного выброса промпредприятий города и городского транспорта.

Для микрокомпонентов атмосферных выпадений установлен ряд закономерностей.

1. Отношение городского фоне к загородному для микрокомпонентов пыли и снеговой воды характеризуется следующим диапазоном величин: пыль - от 2,3 до 10; снеговая вода - от 1 до 2,9. Для пыли наибольшими величинами этого отношения характеризуются никель, ванадий, цинк, барий, хром; для снеговой воды - марганец, ванадий, иттербий, кобальт, цирконий, молибден. Перечисленные компоненты наиболее характерны соответственно для пылевыбросов и газозольных выбросов города. В общем плане для пылегазовыбросов Киева наиболее характерны ванадий, марганец, кобальт, цинк, цирконий, барий, никель, молибден.

2. В результате сравнения фоновых модулей техногенного давления жидких и твердых выпадений на территории города, сделан следующий вывод: цинк, марганец, серебро, медь, никель, олово, молибден, кобальт, хром, барий – компоненты, выпадающие преимущественно с жидкими выпадениями; фосфор, галлий, ванадий – компоненты, выпадающие с твердыми и жидкими выпадениями с примерно равной интенсивностью; свинец, титан, иттербий, цирконий, скандий, иттрий, бериллий – компоненты, выпадающие преимущественно с твердыми выпадениями.

Анализ карт суммарного показателя загрязнения пыли и снеговой воды показывает следующее.

1. Аномальные зоны микрокомпонентов жидких выпадений формируются на расстоянии до 3–5 км от источника выбросов, в то время как аномальные зоны микрокомпонентов твердых выпадений формируются вблизи источника выбросов.

2. Наибольшее техногенное давление атмосферных выпадений приходится на территорию Западного промузла, Куреневско-Оболонский участок, северную часть Корчеватского промузла, территорию Дарницкого вагоноремонтного завода и радиозавода, южную часть Воскресенки и часть Левобережного массива.

Глава 5. Гидрогеохимическая обстановка в первых от поверхности водоносных горизонтах на территории Киева.

Описаны химический состав и температура вод первых от поверхности водоносных горизонтов на территории города. Описание сделано на основании усреднения результатов гидрогеохимических режимных наблюдений каждого исследуемого водопункта. На территории города выделены площади с преобладанием вод определенного состава и минерализаций.

Воды водоносного горизонта аллювиальных отложений долины Днепра на большей части областей распространения являются слабощелочными /рН 7,0–7,9/, гидрокарбонатными, реже хлоридно-гидрокарбонатными кальциевыми, магниевыми-кальциевыми и кальциевыми-магниевыми, пресными /минерализация – 0,18–0,5 г/л/, со среднегодовой температурой 10°C. Воды водоносного комплекса золово-делювиальных и водноледниковых отложений моренно-зандровой равнины и лессового плато в основном нейтральные и слабощелочные /рН 6,9–7,8/, хлоридно-гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-хлоридные магниевыми-кальциевыми и кальциевыми-магниевыми, пресные /минерализация – 0,2–0,3 г/л/, со среднегодовой температурой 10°–12°C. По мере приближения к скло-

нам долин рек и оврагов происходит рост минерализации до 0,7–1,4 г/л, обогащение вод сульфатом кальция и нитратами. Аналогичная картина наблюдается в колодцах частного сектора в различных районах города. В долине Днепра, Лыбеди, Виты выявлены площади вод пестрого и мозаичного состава: участки Дарницкого и Нижнетельбинского промузлов, Южного промузла, Старого Подола и Подольско-Оболонского промузла /рис.2/, среднего течения р.Лыбедь, участок Пироговской свалки бытового мусора. Эти воды характеризуются широкой амплитудой минерализации /0,2–7 г/л/, рН /2,8–10,2/, содержанием органического вещества, микрокомпонентов. Солевой состав варьирует от гидрокарбонатного кальциевого до хлоридного натриевого, магниевое, кальциевого, и от содового до хлоридного железистого.

Режимные наблюдения показывают в целом некоторое убывание амплитуды вариаций уровня воды в скважинах по направлению от русла Днепра /0,6–1,2 м/ к коренному берегу /0,5–0,9 м/. В долине Днепра отмечается в целом прямая зависимость между ростом минерализации и снижением уровня воды. На плато и моренно-зандровой равнине такая закономерность не прослеживается, часто отмечается обратная зависимость. По микрокомпонентам закономерных вариаций содержаний не отмечено. В ряде водопунктов отмечаются аномальные временные изменения минерализации и химического состава воды: изменения минерализации за счет специфических солей, направленные изменения минерализации, изменения состава доминирующих солей во времени.

Итак, воды первых от поверхности водоносных горизонтов на территории Киева характеризуются значительной пестротой и неоднородностью химического состава, значительными вариациями минерализации, рН, макро- и микрокомпонентного состава во времени. При этом отмечаются воды такого состава, который не может формироваться естественным путем в природных условиях, характерных для территории Киева. Все это говорит о наличии на изучаемой территории значительного техногенного воздействия на воды первых от поверхности водоносных горизонтов.

#### Глава 6. Техногенная метаморфизация вод первых от поверхности водоносных горизонтов на территории Киева.

Разработана классификация природно-техногенных подземных вод по химическому составу. В основу классификации положены следующие понятия и принципы:

ГИПОТЕТИЧЕСКИЕ СОЛИ
























	$\text{CaCO}_3$		$\text{Na}_2\text{SO}_4$		$\text{NaNO}_3$		ГРАНИЦЫ СОДЕРЖАНИЙ АНИОНОВ
	$\text{MgCO}_3$		$\text{NaCl}$		$\text{KNO}_3$		ГРАНИЦЫ СОДЕРЖАНИЙ КАТИОНОВ
	$\text{Na}_2\text{CO}_3$		$\text{MgCl}_2$		$\text{NH}_4\text{NO}_3$	H -	ГЛУБИНА УРОВНЯ ВОДЫ ОТ УСЛОВНОЙ ОТМЕТКИ
	$\text{NaHCO}_3$		$\text{CaCl}_2$		$\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$	$\Sigma i$ -	СУММА СОДЕРЖАНИЙ АНИОНОВ И КАТИОНОВ (МИНЕРАЛИЗАЦИЯ)
	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$		$\text{K}_2\text{SO}_4$		$\text{FeSO}_4$	2291	СКВАЖИНЫ
	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$		$\text{KCl}$		$\text{FeCl}_2$	K-2	КОЛОДЦЫ
	$\text{CaSO}_4$		$\text{NH}_4\text{Cl}$			P-5	РОДНИКИ
	$\text{MgSO}_4$						

Рис. I. Условные обозначения к рисункам 2, 4

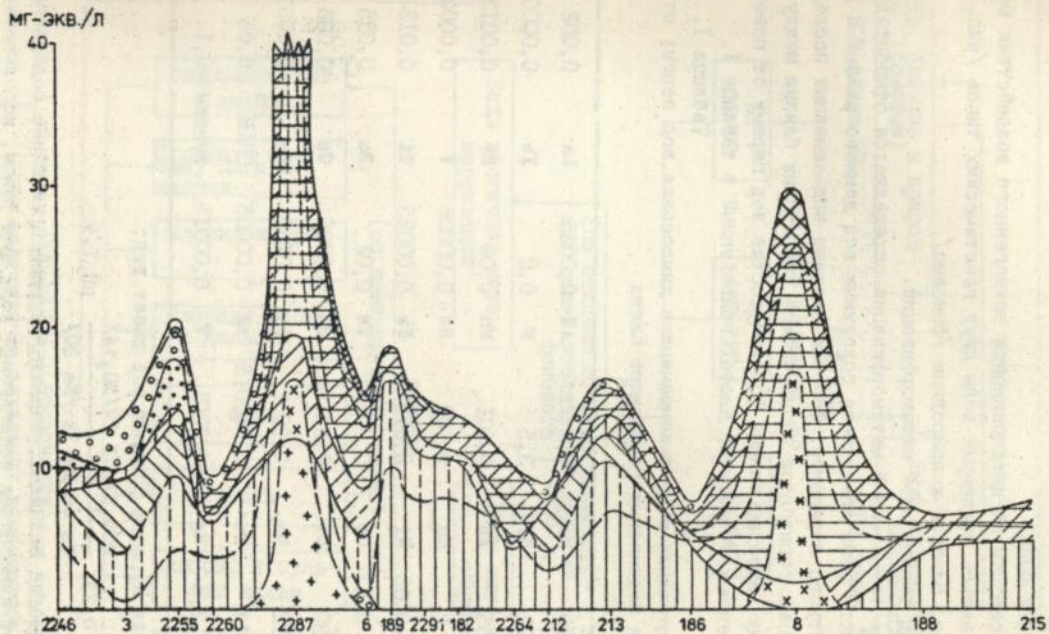


Рис. 2. Площадной гидрохимический профиль через территорию Подольско-Оболонского пром-узла.  
Условные обозначения см. рис. I

- локальный геохимический фон;
- степень превышения содержаний компонентов относительно фона;
- доминирующие соли.

В зависимости от интенсивности техногенного воздействия могут формироваться подземные воды двух генетических типов /рис.3/:

I. Воды, близкие к природным /Фоновые/.

II. Воды техногенной метаморфизации.

Степень техногенной метаморфизации определяется относительно установленного фона химсостава подземных вод данного района и данного водоносного горизонта. Фоновые составы вод основных исследуемых водоносных горизонтов на изучаемой территории близки между собой. Поэтому, выведен единый фоновый состав вод первых от поверхности водоносных горизонтов Киева, приведенный в таблице I.

Таблица I.

Фоновые содержания в мг/л компонентов химсостава вод первых от поверхности водоносных горизонтов Киева

$\text{HCO}_3^-$	110	$\text{Fe}_{\text{общ}}$	0,2	As	0,0025	La	0,002
$\text{SO}_4^{2-}$	22	$\text{SiO}_2$	3,5	P	0,2	Yb	0,00005
$\text{Cl}^-$	35	Pb	0,001	Mn	0,09	Zr	0,0013
$\text{NO}_3^-$	2	Cu	0,002	Sc	0,00006	V	0,0002
$\text{NO}_2^-$	0,05	Ni	0,015	Nb	0,00035	Tl	0,013
$\text{NH}_4^+$	0,5	Co	0,00035	Zn	0,02	Ba	0,035
$\text{Ca}^{2+}$	30	Cr	0,02	Sn	0,0005	Ce	0,003
$\text{Mg}^{2+}$	12	Mo	0,0002	Li	0,0035	Ga	0,00012
$\text{Na}^+$	14	Be	0,000015	Ag	0,00005	СПАВ	0,05
$\text{K}^+$	2,5	Hg	0,0001	Y	0,00015	фенолы	0,1

Формула Курлова фоновых вод имеет вид:

$$M \ 0,23 \ \frac{\text{HCO}_3 \ 57 \ \text{Cl} \ 29 / \text{SO}_4 \ 14 /}{\text{Ca} \ 48 \ \text{Mg} \ 32 / \ \text{Na} \ 20 /} \ \text{pH} \ 7,5$$

В качестве величины, характеризующей превышение содержаний компонентов химсостава исследуемой воды над фоном, использован суммарный показатель загрязнения /СПЗ/, применяющийся для почв и других сред /Сает Ю.Е. и др., 1990/. Границей вод техногенной метаморфизации принята величина СПЗ=30 - в 1,5 раза меньшая числа

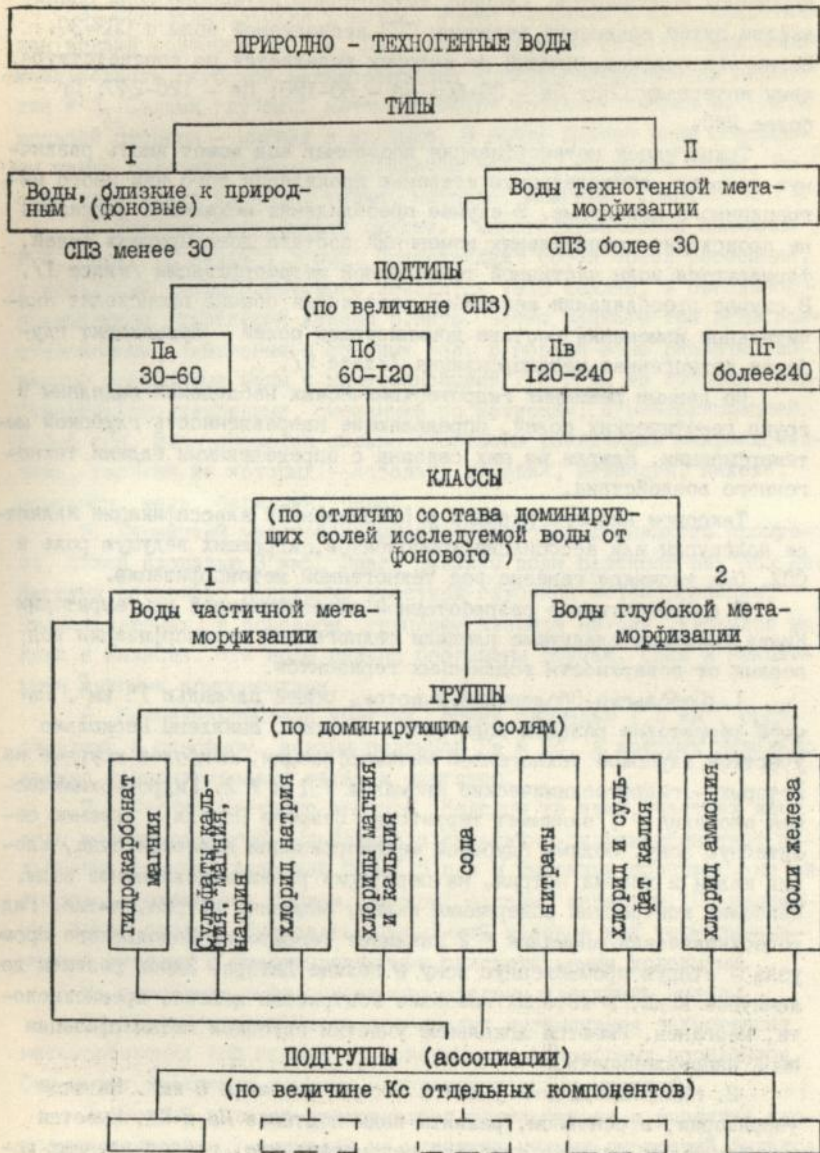


Рис. 3. Схема классификации природно-техногенных подземных вод территории Киева

изучаемых компонентов. Степень техногенной метаморфизации оценивается путем сравнения величины СПЗ исследуемой воды с СПЗ=30. Возникают подтипы, каждый из которых выделяется по соответствующему интервалу СПЗ: Па - 30-60; Пб - 60-120; Пв - 120-240; Пг - более 240.

Техногенная метаморфизация подземных вод может иметь различную природу, обусловленную степенью проявления того или иного миграционного механизма. В случае преобладания механизма рассеяния не происходит значительных изменений состава доминирующих солей, формируются воды частичной техногенной метаморфизации /класс I/. В случае преобладания механизма растекания обычно происходят значительные изменения состава доминирующих солей - происходит глубокая техногенная метаморфизация /класс 2/.

По данным режимных гидрогеохимических наблюдений выделены 9 групп генетических солей, определяющие направленность глубокой метаморфизации. Каждая из них связана с определенными видами техногенного воздействия.

Таксоном низшего порядка в предложенной классификации являются подгруппы или ассоциации компонентов, играющих ведущую роль в СПЗ. Они уточняют генезис вод техногенной метаморфизации.

В соответствии с разработанной классификацией на территории Киева выявлены следующие площади техногенной метаморфизации вод первых от поверхности водоносных горизонтов.

1. Подольско-Оболонский участок, общей площадью 15 км<sup>2</sup>. На этой территории развиты воды всех подтипов. Выявлены несколько участков глубокой техногенной метаморфизации, наиболее крупные из которых - гидрогеохимические аномалии № 1 и № 2. Гидрогеохимическая аномалия № 1 занимает территорию Старого Подола - древнюю селитебную зону. Солями глубокой метаморфизации являются сода, хлорид калия и хлорид натрия, на периферии развиты доломитные воды. Наиболее контрастны содержания калия, аммония, натрия, лития. Гидрогеохимическая аномалия № 2 занимает территорию Подольского пром-узла - старую промышленную зону в долине Днепра. Здесь развиты доломитные воды, в которых наиболее контрастны железо, кремнекислота, марганец. Имеются локальные участки глубокой метаморфизации иной направленности.

2. Нижнелыбедский участок, общей площадью 6 км<sup>2</sup>. На этой территории, в основном, развиты воды подтипов Па и Пб. Имеется три локальных участка глубокой метаморфизации, представленных водами содовой, хлоридной и доломитной минерализации.

3. Среднелыбедский участок, общей площадью  $6 \text{ км}^2$ , представлен водами подтипов Па, Пб, Пв. Более половины этой площади занимает область глубокой метаморфизации – гидрогеохимическая аномалия № 3. Солями глубокой метаморфизации являются хлорид натрия, в меньшей степени – магния и кальция. В пойме Лыбеди воды обогащены также гидрокарбонатом и сульфатом натрия, хлоридом калия. Высок содержания хлорида, калия, нитрита, аммония, СПАВ.

4. Участок Пироговской свалки. Гидрогеохимическая аномалия № 4, общей площадью  $1,5 \text{ км}^2$ . Представляет собой ореол рассеяния, в ареальной области которого находится тело свалки, в ореольной – примыкающая территория долины р. Вита. Четко развиты три зоны: восстановления, окисления и фоновых вод. В первой зоне развиты хлоридные аммонийные воды с минерализацией 7–8 г/л, во второй – гидрокарбонатно-хлоридные, смешанные по катионам, с минерализацией 2,5–6 г/л. Воды аномалии сильно обогащены различными микроэлементами, главные из которых – кобальт, ванадий, молибден, никель, марганец, медь, бериллий, барий.

5. Дарницкий участок занимает территорию Дарницкого промузла, общей площадью  $3 \text{ км}^2$ . Здесь развиты воды подтипов Па, Пб, Пв. Имеются несколько локальных участков глубокой метаморфизации, представленных, в основном, группами хлорида натрия, хлоридов магния и кальция. Эти воды сильно обогащены ртутью, СПАВ и некоторыми другими компонентами.

6. Нижнетельбинский участок, общей площадью  $1,5 \text{ км}^2$ , представлен; в основном, водами подтипов Па и Пб, в которых довольно высоко концентрированы титан и марганец.

7. Участки частного сектора. Колодцы на этих участках дают воды гидрокарбонатно-сульфатные и сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией 0,5–1,5 г/л и высокими содержаниями нитратов, обогащенные барием, цинком, оловом, серебром. По-видимому, такой состав обусловлен спецификой колодца как термодинамической системы с ярко выраженными окислительными условиями.

На основании выше описанного сделаны следующие выводы.

1. На территории Киева происходит интенсивная техногенная метаморфизация вод первых от поверхности водоносных горизонтов. Она имеет различную природу, направленность и масштабы.

2. Особый интерес представляет формирование и развитие площадных техногенных аномалий на участках низких скоростей фильтрации – в долине Днепра. На этих участках формирование площадных аномалий имеет свою специфику, обусловлено не локальными, а пло-

щадными источниками техногенного воздействия. Специфичны и процессы глубокой метаморфизации на этих участках.

Глава 7. Роль загрязненных атмосферных выпадений в метаморфизации химического состава вод первых от поверхности водоносных горизонтов Киева.

Оценены темпы роста содержаний основных макрокомпонентов и микрокомпонентов на примере ванадия в грунтовых водах долины Днепра за счет инфильтрации загрязненных атмосферных осадков.

В долине Днепра, в условиях слабой естественной защищенности при низких скоростях горизонтальной фильтрации грунтовых вод, загрязненные атмосферные осадки являются одним из основных площадных источников техногенной метаморфизации этих вод.

Сравнение содержаний макрокомпонентов в снеговой воде и водных вытяжках из почв и фоновых содержаний этих компонентов в грунтовых водах, показывает следующее.

1. Фоновые содержания большинства макрокомпонентов в грунтовых водах на полпорядка-порядок выше суммы их фоновых содержаний в атмосферных осадках и водных вытяжках из почв /кроме нитрат- и аммоний-ионов/.

2. Максимальные содержания макрокомпонентов в атмосферных осадках и водных вытяжках из почв в 1,5-10 раз превышают фон в грунтовых водах.

В долине Днепра развиты намывные пески, дерновые и дерново-подзолистые почвы. Исследования поровых растворов нижних горизонтов этих почв и зоны аэрации песчаных подзолов /Колодяжная А.А., 1963; Пономарева В.В., Сотников Н.С., 1972/ показывают, что поровые растворы песчаных подзолов слабо обогащаются макрокомпонентами. В этих условиях формирование фонового химсостава грунтовых вод происходит, в основном, в процессе взаимодействия инфильтрующихся осадков с вмещающими породами водоносного горизонта. Этот вывод косвенно подтверждается зависимостью уровня и минерализации грунтовых вод в долине Днепра: с ростом уровня снижается минерализация. Так как в зоне аэрации долины Днепра практически нет геохимических барьеров для основных макрокомпонентов атмосферных осадков и грунтовых вод - гидрокарбонат- и хлорид-ионов, то концентрации этих компонентов в осадках, сформировавшиеся в атмосфере, на поверхности земли и в верхнем слое почв, сохраняются до достижения осадками уровня грунтовых вод.

После достижения поровым раствором уровня грунтовых вод происходит смешение его с грунтовыми водами. Причем, в случае гидро-

карбонатного кальциевого или хлоридного натриевого порового раствора, это смешение механическое, так как в системе нет солей-антагонистов, и оба смешивающихся раствора далеки от насыщения относительно доминирующих солей. Конечные содержания гидрокарбоната и хлорид-ионов в воде, поступившей в водоносный горизонт с инфильтрующимися осадками после их взаимодействия с вмещающими породами горизонта / $C_2$ /, рассчитаны по формуле:

$$C_2 = C_1^I + /C_3 - C_3^I/ + /C_4 - C_4^I/ \quad /1/$$

где  $C_1^I$  - фоновое содержание компонента в грунтовых водах;  
 $C_3$  - содержание компонента в атмосферных осадках;  
 $C_3^I$  - фоновое содержание компонента в атмосферных осадках;  
 $C_4$  - содержание компонента в водной вытяжке из почв;  
 $C_4^I$  - фоновое содержание компонента в водной вытяжке из почв.

Для расчетов темпа роста содержаний компонентов в грунтовых водах за счет смешения загрязненных атмосферных осадков и грунтовых вод использована формула:

$$C = \frac{V_1 C_1 + V_2 \cdot C_2}{V_1 + V_2} \quad /2/$$

где  $C$  - содержание компонента в грунтовых водах в конце расчетного периода;

$V_1$  - объем грунтовых вод в расчетном слое;

$V_2$  - объем загрязненных атмосферных осадков, поступивший в водоносный горизонт за расчетный период.

При существующих в долине Днепра скоростях горизонтальной фильтрации грунтовых вод /менее 0,01 м/сутки/ скорость молекулярной диффузии становится соизмеримой со скоростью конвекции. Поэтому, техногенной метаморфизации подвергается значительный слой водоносного горизонта. Наиболее оптимальным расчетным слоем водоносного горизонта является слой 10 м. Норма питания грунтовых вод атмосферными осадками в долине Днепра при средней глубине зоны аэрации 5 м составляет 0,03 м/год.

Расчеты темпа роста содержаний гидрокарбонат- и хлорид-иона сделаны для площадей наиболее контрастных аномалий этих компонентов в атмосферных осадках на территории Корчеватской аномалии гидрокарбонатной минерализации и Дарницкой аномалии хлоридной минерализации. Расчеты показывают, что при существующем техногенном давлении не может произойти существенных изменений содержаний основных анионов грунтовых вод. Для увеличения содержаний этих анионов вдвое понадобится период времени, равный: для гидрокарбонат-

иона - 200-250 лет; для хлорид-иона - 90-100 лет.

Процесс техногенной метаморфизации микрокомпонентного состава грунтовых вод протекает сложнее, чем макрокомпонентного. Связано это с определяющей ролью щелочно-кислотных и окислительно-восстановительных условий, сорбции и биопоглощения в миграции микрокомпонентов. Часть микрокомпонентов - медь, цинк, ванадий и др. имеет фоновые содержания в атмосферных осадках в 3-5 раз выше их фонов в грунтовых водах. У свинца, кобальта, марганца и др. фоны в этих средах соизмеримы. У никеля, молибдена, серебра и др. фоны в атмосферных осадках в 2-4 раза ниже фонов в грунтовых водах. В то же время все изученные микрокомпоненты способны иметь содержания в осадках, превышающие фон в грунтовых водах на 1-3 порядка.

Темп роста содержаний микрокомпонентов в грунтовых водах за счет загрязненных атмосферных осадков рассмотрен на примере аномалии ванадия в атмосферных осадках вокруг ТЭЦ-5. Для расчета величины  $C_2$  формула /1/ в данном случае неприменима. Для оценки этой величины использовано отношение фонов ванадия в грунтовых водах и атмосферных осадках, считая, что оно сохраняется при повышении содержаний этого элемента в атмосферных осадках. Это отношение равно 0,2. Тогда  $C_2 = 0,2 C_3$ .

Расчеты по формуле /2/ показывают, что при существующем техногенном давлении ванадия в атмосферных осадках в пределах расчетного участка, содержания этого элемента в грунтовых водах увеличатся вдвое за период 3-4 года. ТЭЦ-5 работает уже 20 лет. В настоящее время содержания ванадия в воде скважины, расположенной в центре расчетного участка, в 3-3,5 раза превышают фон. Фактический темп роста содержаний ванадия в грунтовых водах соизмерим с расчетным.

Таким образом, двойное увеличение содержаний отдельных микрокомпонентов в грунтовых водах может происходить за период, исчисляемый первыми годами и десятилетиями после формирования устойчивых аномалий этих компонентов в атмосферных выпадениях. При наличии устойчивых комплексных аномалий микрокомпонентов в атмосферных выпадениях, с высокими СПЗ, в их пределах могут в течение нескольких лет или первого десятилетия сформироваться площади частичной техногенной метаморфизации грунтовых вод.

Глава 8. Техногенная метаморфизация вод первых от поверхности водоносных горизонтов Киева в результате площадных изменений химического состава зоны аэрации.

Показана роль культурного слоя в формировании техногенных гидрогеохимических аномалий. Рассмотрена специфика процессов техногенной метаморфизации грунтовых вод в промышленных и селитебных зонах долины Днепра.

Формирование мощного культурного слоя – характерная особенность урбанизированной территории. Культурный слой характеризуется измененным химическим составом почв и пород зоны аэрации. В долинах рек он обычно ограничивается уровнем грунтовых вод. В режиме грунтовых вод крупного города наблюдаются как локальные вариации, так и многолетние циклы подъема и снижения уровня, в результате которых происходит длительное взаимодействие грунтовых вод и культурного слоя на значительных площадях. Именно этим можно объяснить формирование площадных гидрогеохимических аномалий глубокой техногенной метаморфизации в пределах долины Днепра при скоростях горизонтальной фильтрации менее 0,01 м/сутки.

Основными компонентами культурного слоя в городах являются стройматериалы, строительные конструкции и продукты их коррозии. Наибольшая их концентрация приходится на старые селитебные зоны и крупные промзоны, где она имеет площадной характер. Основными стройматериалами, используемыми для фундаментов, несущих конструкций и подземных коммуникаций, являются бетоны. Они содержат от 6 до 11% гидроокисей кальция и магния, которые способны к углекислотному выщелачиванию с образованием гидрокарбонатов кальция и магния.

В пределах долины Днепра создаются благоприятные условия для углекислотного выщелачивания гидроокисей и карбонатов кальция и магния, и накопления продуктов растворения карбонатов в грунтовых водах: "мягкость" грунтовых вод, высокое парциальное давление свободной углекислоты в почвах и зоне аэрации, интервал температур грунтовых вод от +4 до +15°C, низкие скорости горизонтальной фильтрации. В результате грунтовые воды старых селитебных зон и промзон долины Днепра обогащаются гидрокарбонатами кальция и магния, становясь доломитными. Их минерализация контролируется растворимостью кальцита и доломита, в данных термодинамических условиях составляющей 1,0–1,5 г/л.

В старых селитебных зонах процесс не заканчивается доломитизацией грунтовых вод. В этих районах в почвах и зоне аэрации име-

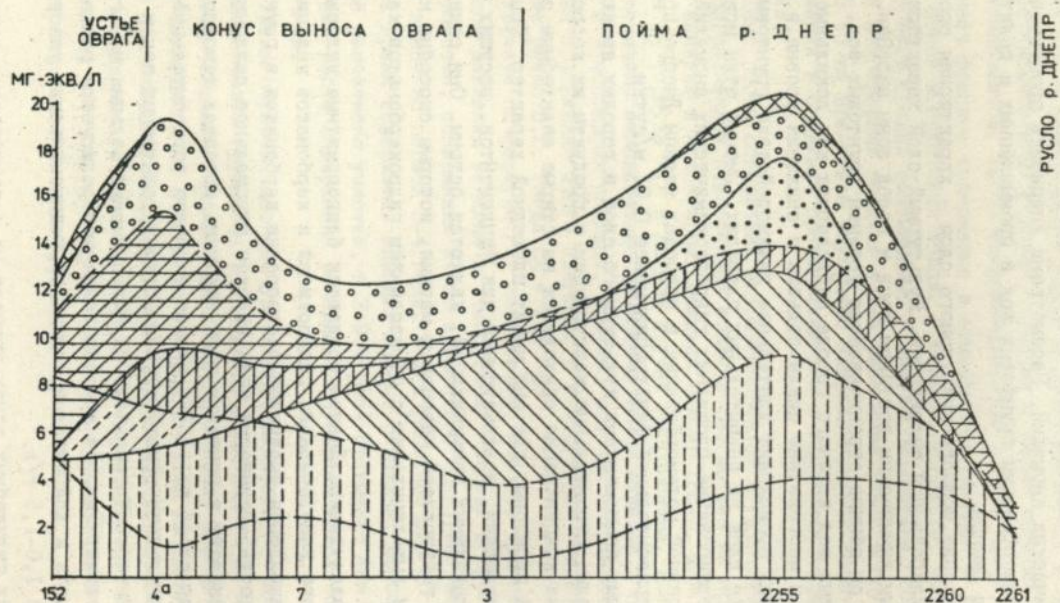


Рис. 4. Площадной гидрохимический профиль через территорию гидрогеохимической аномалии №1.  
Условные обозначения см. рис. I

ется множество источников бытового загрязнения: захоронения бытового мусора /главным образом, пищевые отбросы и бумага/, туалеты, выгребные ямы, потери из канализации и т.д. Основными растворимыми компонентами перечисленных источников являются натрий, калий, хлор, аммоний, поступающие в грунтовые воды при их взаимодействии с источниками бытового загрязнения зоны аэрации. В результате доломитные грунтовые воды в старых селитебных зонах обогащаются хлоридами калия, натрия, аммония, а поглощенный комплекс пород зоны аэрации - натрием.

При дальнейшем взаимодействии грунтовых вод, близких к насыщению гидрокарбонатами кальция и магния, с породами зоны аэрации, поглощенный комплекс которых насыщен натрий-ионом, происходит процесс катионного обмена по схеме Гедройца, приводящий к содообразованию. В соответствии с законом действующих масс, минерализация формирующихся вод близка к минерализации исходных доломитных вод. Ярким примером глубокой техногенной метаморфизации грунтовых вод в древней селитебной зоне является участок Старого Подола /гидрогеохимическая аномалия № I/, в пределах которого наиболее полно проявлены описанные выше процессы техногенной метаморфизации /рис.4/.

Содообразование в грунтовых водах является специфическим процессом техногенной метаморфизации, протекающим именно на участках с низкими скоростями горизонтальной фильтрации, способствующими накоплению соды в грунтовых водах. При наиболее благоприятных условиях этот процесс приводит к формированию площадей глубоко метаморфизованных вод содовой группы.

## ВЫВОДЫ

Основные результаты исследований состоят в следующем.

I. Первые от поверхности водоносные горизонты на территории г.Киева представляют собой природно-техногенную систему. Химизм вод этих горизонтов не соответствует химизму природных подземных вод. В связи с этим разработана гидрогеохимическая классификация природно-техногенных подземных вод для территории Киева. В ее основу положены следующие понятия и принципы:

- локальный геохимический фон;
- степень превышения содержаний компонентов относительно фона;
- доминирующие соли.

На основании классификации на исследуемой территории выявлены грунтовые воды частичной и глубокой техногенной метаморфизации.

В долине Днепра, при скоростях горизонтальной фильтрации менее 0,01 м/сутки выявлены площадные гидрогеохимические аномалии частичной и глубокой техногенной метаморфизации. Их формирование объясняется наличием площадных источников техногенного воздействия — загрязненных атмосферных осадков и площадей с измененным химическим составом зоны аэрации.

2. Роль загрязненных атмосферных осадков в техногенной метаморфизации грунтовых вод сводится к следующему. Содержания основных макрокомпонентов в грунтовых водах существенно не изменяются даже в пределах контрастных аномалий макрокомпонентов в атмосферных осадках. Удвоение их содержаний требует периода времени многие десятилетия и первые сотни лет. Поэтому, не может произойти глубоких изменений солевого состава грунтовых вод за счет загрязненных атмосферных осадков. В то же время содержания микрокомпонентов в грунтовых водах могут существенно возрастать на участках контрастных аномалий в атмосферных выпадениях. Удвоение их содержаний может происходить в течение первых лет со времени формирования устойчивых аномалий в атмосферных выпадениях. При наличии комплексных аномалий микрокомпонентов в атмосферных выпадениях, могут формироваться площади частичной техногенной метаморфизации грунтовых вод.

3. В районах старой селитебной застройки и в промзонах происходит площадное изменение химического состава зоны аэрации за счет цементсодержащих стройматериалов, фундаментов строительных конструкций и продуктов их коррозии. В долине Днепра, при неглубоком положении уровня /3-5м/, грунтовые воды способны длительное время взаимодействовать с измененными породами зоны аэрации. В результате углекислотного выщелачивания гидроокисей кальция и магния формируются площади доломитных вод минерализации I,0-I,5 г/л. В районах старой селитебной застройки, кроме того, имеются многочисленные источники бытового загрязнения зоны аэрации, способствующие площадному обогащению грунтовых вод хлоридами натрия, калия, аммония, а поглощенного комплекса пород зоны аэрации — натрием. Процесс оканчивается содообразованием по схеме Гедройца вплоть до формирования площадей глубоко метаморфизованных вод содовой группы минерализации, близкой к минерализации доломитных вод.

## СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Геохимические аспекты состояния геологической среды Киевской промышленно-городской агломерации // Геологический журнал. - 1991. - № 2. - С. 28-38. /Соавторы: Зарицкий А.И., Лысяный Н.Н., Лютая Н.Г./.
2. Особенности техногенных изменений химического состава грунтовых вод на территории Старого Подола в г.Киеве // Докл. АН Украины. - 1992. - № 4. - С. 85-87. /Соавторы: Соботович Э.В., Ольштынский С.П./.
3. Принципы классификации подземных вод урбанизированной территории /на примере г.Киева/ // Докл. АН Украины. - 1992. - № 5. - С. 101-105. /Соавторы: Соботович Э.В., Ольштынский С.П./.
4. **Thermodynamic modelling of metamorphization of natural waters / Abstracts of the Second International Symposium "Thermodynamics of natural processes" / Novosibirsk. - 1992. - С. 3. /Соавторы: Кулик Д.А., Синицын В.А., Ходоровский М.С./.**



Подписано в печать 5.II.92г Формат 60x84/16  
Бумага писчая.Усл.печ.л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 1688

---

Отпечатано ЦУОП ГНПП "Плодвинконсерв" г.Киев,Саксаганского,1

276345

2

#B 26.302  
**AB 26.302**