На правах рукописи

КОЛОКОЛОВА Ольга Васильевна

ГЕОХИМИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД РАЙОНА ТОМСКОГО ВОДОЗАБОРА

Специальность 25.00.07 – Гидрогеология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск - 2003

Работа выполнена в Институте геологии нефти и газа СО РАН

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, профессор, лауреат Госпремии СССР С.Л. Шварцев

Официальные оппоненты:

Профессор, доктор геолого-минералогических наук,
Г.М. Рогов
Кандидат геолого-минералогических наук,
В.Г. Иванов

Ведущая организация: ОГУП ТЦ «Томскгеомониторинг»

Защита диссертации состоится «25» декабря 2003г. в 16:30 часов в 210 аудитории первого корпуса ТПУ на заседании диссертационного совета Д212.269.03 при Томском политехническом университете.
Адрес: 634034, г.Томск, пр.Ленина, 30

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Томского политехнического университета.

Автореферат разослан «24» ноября 2003г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук _____ О.Г. Савичев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Данная работа связана с фундаментальной проблемой геохимии пресных подземных вод зоны активного водообмена. Проблемы исследования формирования состава подземных вод методами физико-химической термодинамики, изучения основных факторов их защищенности, путей антропогенной трансформации и прогноза состава выходят на первый план по сравнению с другими актуальными вопросами гидрогеохимии. Теоретической базой наших исследований стало представление, развиваемое С.Л. Шварцевым, о последовательных этапах формирования состава подземных вод зоны гипергенеза.

Внимание исследователей привлекает проблема трансформации состава подземных вод в процессе их эксплуатации, связанная как с вертикальной инфильтрацией загрязнителей, так и с антропогенно-инициированными процессами перетоков из смежных с эксплуатируемым водоносных комплексов, процессами растворения минералов при изменении интенсивности водообмена, и другими неблагоприятными для качества вод процессами. Исследование этих процессов на примере Томского месторождения подземных вод, эксплуатируемого 30 лет, имеет большое теоретическое и прикладное значение для понимания явлений, происходящих в недрах эксплуатируемых месторождений краевых частей Западно-Сибирского артезианского бассейна.

Цель работы. Изучение геохимии подземных вод района Томского водозабора, выявление признаков их загрязнения, оценка экогеохимического состояния, выявление процессов формирования состава вод в условиях природного и нарушенного режимов, прогноз состояния.

Основные задачи: 1) изучить геохимию вод района на всех этапах их формирования (атмогенном, биогенном и литогенном); 2) выполнить эколого-геохимическую оценку состояния эксплуатируемого и смежных с ним водоносных комплексов; 3) изучить литолого-минералогический состав водовмещающих пород; 4) выявить источники химических элементов в подземных водах; 5) рассчитать равновесие подземных вод с основными породообразующими минералами методами физико-химическими термодинамики; 6) выявить временные тенденции в изменчивости состава подземных вод в областях с нарушенным и ненарушенным гидродинамическими режимами; 7) дать прогноз изменения качества подземных вод Томского месторождения и рекомендации по их дальнейшему исследованию, эксплуатации и охране.

Объект исследования. Объектом исследований является одно из крупнейших месторождений питьевых подземных вод Томской области, - месторождение Томское, расположенное в северной части Обь-Томского междуречья, и эксплуатируемое одноименным водозабором.

Исходные данные. Для написания диссертационной работы были использованы материалы, собранные автором за 8 лет работы в ТФ ИГНГ СО РАН. Исходными данными также послужили материалы отчетов и ежегодников ТКГРЭ за 1968-95гг., фондов ГУПР по Томской области, данные по режимным гидрогеохимическим и гидродинамическим наблюдениям 1995-99гг., предоставленные автору руководителем ОГУП ТЦ «Томскгеомониторинг» В.А. Льготиным, данные МП «Томскводоканал» 1999-2001гг., материалы 1968-2000гг., предоставленные автору Н.А. Ермашовой. Привлекались данные, опубликованные в научной литературе. Всего было изучено 220 литолого-минералогических анализов, 96 химических анализов пород водовмещающей толщи района, свыше 1000 анализов природных вод, вод палеогенового, неоген-четвертичного и верхнемелового комплексов, отобранных начиная с 1973г., порядка 30 анализов вод из коллектора станции второго подъема и водоподготовки МП «Томскводоканал», тысячи наблюдений за гидродинамическим режимом подземных вод Обь-Томского междуречья.

Методы исследований. Анализ, систематизация и эколого-геохимическая оценка материалов гидрогеохимических исследований проводились с учетом рекомендаций ВСЕГИНГЕО, ГОСТ, СанПиН и других специализированных изданий. Для решения поставленных задач выполнялись расчеты термодинамических равновесий и физико-химическое моделирование взаимодействия в системе «вода-порода». Применялся метод физико-химических равновесий, разработанный в 1960-х годах Р.М. Гаррелсом и Ч.Л. Крайстом. Гидрогеохимические расчеты и моделирование

осуществлялись с помощью пакета программ HydrGeo (автор – д.г.-м.н. Букаты М.Б.), также использовались процедуры вероятностной статистики с помощью пакета программ Statistica5.0.

Научная новизна. Детально изучена геохимия природных вод района, начиная от атмосферных осадков и заканчивая трещинными водами палеозойских отложений, исследован химический и минералогический состав водовмещающих пород. На основе полученных данных построена термодинамическая модель, включающая все возможные в данной геохимической обстановке реакции: растворения первичных минералов и формирования вторичных. С помощью этой модели оценена степень равновесия подземных вод района Томского водозабора относительно карбонатных и алюмосиликатных минералов в пластовых условиях, выполнено моделирование взаимодействия вода-порода. Количественно и качественно оценены основные источники вещества в подземных водах. Изучен гидрогеохимический режим вод района на основе данных за 25-летний период наблюдений; выявлено, что их состав изменялся неравномерно на разных участках водозабора. Изучены основные природные и антропогенные гидрогеохимические аномалии в пределах трех верхних комплексов. Установлено, что факторами, ускоряющими антропогенную трансформацию состава вод, являются пространственно-временная неравномерность водоотбора и несоблюдение СанПиН в районах, прилегающих к зонам санитарной охраны скважин Томского водозабора. Выполнен комплексный гидрогеохимический прогноз, основанный на методах множественной регрессии и временных серий, который показал, что при сохранении современных уровней водоотбора и загрязнения (без учета катастрофических явлений), состав подземных вод со временем изменится незначительно.

Защищаемые положения*:*

1. В исследуемом районе наблюдается обычная вертикальная гидрогеохимического зональность, причина которой состоит в смене условий водообмена с активного промывного на относительно замедленный. Это обеспечивает формирование разных по составу, но в основном пресных качественных вод (кроме содержаний Fe и Mn), за исключением верхнемелового комплекса, в котором встречаются солоноватые воды.
2. Основным источником химических элементов в составе пресных подземных вод района Томского водозабора является континентальная толща водовмещающих отложений (более 50% вещества), значительный вклад вносит также органическое вещество (до 40%). При этом доля антропогенной составляющей в настоящее время незначительна, и не превышает в среднем 3%.
3. Основными факторами техногенной трансформации состава подземных вод являются процессы ускоренной миграции загрязнителей в зонах влияния эксплуатационных скважин, изменение интенсивности водообмена в пределах верхнего водоносного комплекса, а также процессы субвертикального подтягивания некондиционных вод из нижележащего комплекса.

Практическая значимость работы заключается в оценке состояния природно-техногенной системы Томского месторождения, выявлении возможности управления качеством его подземных вод в ходе эксплуатации, в формулировке рекомендаций по охране и исследованиям.

Апробация работы. Отдельные разделы работы доложены на международном конгрессе «Молодежь и наука – третье тысячелетие» (ТПУ, 1997); международной конференции им. акад. М.А.Усова (ТПУ, 1998); научно-практической конференции «Проблемы региональной экологии» (1998); 10-м международном конгрессе «Гидрогеология и управление использованием земель» (Братислава, 1999); международной конференции «Фундаментальные проблемы воды на рубеже 3-го тысячелетия» (2000); международном симпозиуме «Гидрогеология и окружающая среда» (Ухань, Китай, 2000, 2003); франко-российском семинаре «Загрязнение окружающей среды» (ТПУ, 2000); региональной конференции геологов Сибири и Дальнего Востока (Томск, 2000); III международном симпозиуме «Контроль и реабилитация окружающей среды» (ИОМ, Томск, 2002); международной конференции «Техногенная трансформация геологической среды» (Екатеринбург, 2002); сессии Научного Совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии «Сергеевские чтения» (Москва, 2003), российско-немецком семинаре

«Водохозяйственные проблемы Томской области» (ТПУ, 2003).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 8 глав и заключения, списка литературы из 150 наименований; 215 страниц текста содержат 67 рисунков и 39 таблиц.

Работа выполнена под чутким руководством доктора геолого-минералогических наук, профессора С.Л. Шварцева. В процессе исследований автор пользовался консультациями к.г.-м.н. Н.А. Ермашовой, д.г.-м.н. М.Б. Букаты, к.г.-м.н. В.А. Зуева, д.г.-м.н. Н.М. Рассказова и других ученых, влияние которых на научное мировоззрение автора значительно. В проведении работ и сборе данных помощь оказали доценты кафедры ГИГЭ ТПУ Н.А. Ермашова, Н.М. Шварцева и О.Г. Савичев, за что автор приносит им глубочайшую благодарность. За предоставленные материалы хочется поблагодарить ОГУП ТЦ «Томскгеомониторинг» в лице В.А. Льготина, Ю.В. Макушина, В.П. Шинкаренко, сотрудников МП «Томскводоканал», ГУПР Томской области и ТКГРЭ. Автор также искренне благодарит коллектив ТФ ИГНГ СО РАН.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Состояние изученности подземных вод района исследований

Изучением геологических и гидрогеологических условий Западно-Сибирской платформы занимались известные исследователи: М.И. Кучин, М.П. Нагорский (1932-1941), В.А. Хахлов, Л.А. Рогозин (1944-48), М.С. Гуревич, П.А. Удодов, В.М. Матусевич (1952-54), А.О. Шварцман, М.Р. Лозовский (1955), Ю.К. Смоленцев (1962-67), В.Н. Сильвестров (1974) и другие.

В последние десятилетия исследования гидрогеологии и гидрогеохимии района Томского водозабора были проведены П.А. Удодовым, Н.М. Рассказовым, Н.А. Карлсоном, Т.Н. Филипповой, В.А. Коробкиным, С.Л. Шварцевым, В.П. Шинкаренко, В.А. Льготиным, Ю.В. Макушиным, В.К. Поповым, Г.М. Роговым и другими. Результаты исследований изложены в фондовой литературе, а также представлены статьями в научных журналах, сборниках статей, монографиях или учебниках. Основной вклад в изучение района внесли: В.В. Нелюбин, Л.Ф. Валенюк, В.Д. Рябенко, И.Б. Санданов, М.И. Горяева, Б.В. Плотников, В.Я. Герасимов, Г.Г. Юдин, В.П. Щипачев, Н.М. Шварцева, Н.А. Ермашова, М.Х. Булычева, Б.Е. Никонов, В.Д. Мокренко, О.Л. Буткевич, Н.В. Ковенко, В.А. Коробкин, О.Ф. Шинкаренко, В.П. Шинкаренко, В.А. Зуев, Е.М. Дутова, Ю.Г. Копылова, А.М. Альшанский совместно с коллективами кафедры ГИГ ТПИ (ГИГЭ ТПУ), ТКГРЭ, ОГУП МП «Томскводоканал», ТО ОИГГиМ СО РАН (ТФ ИГНГ), ОГУП ТЦ «Томскгеомониторинг» и другими.

В результате этих работ была накоплена база данных режимных и дискретно-массовых наблюдений геохимии природных и подземных вод исследуемого района, выявлены основные закономерности изменчивости. Тем не менее, сведения о данном природно-техническом объекте пока не образуют единой системы научных знаний. Поэтому требуется проводить комплексные гидрогеохимические исследования, основанные на современных методах физико-химической термодинамики и математической статистики, с обязательным привлечением сведений о гидродинамическом режиме эксплуатируемого месторождения. Это позволит более эффективно и экологически безопасно эксплуатировать Томское месторождение подземных вод.

Глава 2. Экономические и природные условия района Томского водозабора

Рассмотрены климатические, геоморфологические, почвенные, гидрологические и ландшафтные особенности района, описаны основные источники загрязнения территории Обь-Томского междуречья. Загрязнение связано с поступлением атмосферных аэрозолей от приборостроительных, химических и нефтехимических предприятий гг.Томска и Северска, а также – с поступлением стоков мелких сельскохозяйственных или авторемонтных предприятий в населенных пунктах, расположенных в пределах области питания Томского месторождения. Загрязнителями атмосферных осадков выступают тяжелые металлы, сульфат- и нитрит-ионы, сложные органические вещества. Сельскохозяйственные предприятия загрязняют территорию

пестицидами и минерально-органическими удобрениями. Объем потребления последних резко упал за 15 лет, однако в 60-80-е годы их потребление в районе исследований составляло сотни килограмм и десятки тысяч тонн в год соответственно. Также фиксируются сложные нефтепродукты и СПАВ, особенно в районах населенных пунктов.

Глава 3. Геологические условия района исследований

Томское месторождение подземных вод расположено в северной части Обь-Томского междуречья, в зоне сочленения Колывань-Томской складчатой области и краевой части Западно-Сибирской плиты. Нижний геологический этаж представляют алевролитово-глинисто-сланцевые породы кровли фундамента поздне-девонского или ранне-каменноугольного возраста, перекрытые со стратиграфическим несогласием осадочным чехлом. В течение длительного перерыва в осадконакоплении они подверглись выветриванию, в результате чего по складчатым метаморфическим породам оказалась развита каолинитовая толща, локально изолирующая породы фундамента от отложений осадочного чехла. В Притомской зоне она была смыта.

В разрезе мезозойско-кайнозойского осадочного чехла выделяются два структурных этажа. Тектоническое строение фундамента обусловило субпараллельное залегание отложений осадочного чехла, мощность которых постепенно увеличивается при удалении от Колывань-Томского выступа. В меловом периоде территория испытала ряд трансгрессий и регрессий моря, в результате здесь отложились каолинитизированные песчаные отложения или карбонатизированные глины. Отложения меловой системы на площади Обь-Томского междуречья имеют небольшую мощность (от 0м на юго-востоке до 150м на северо-западе). В основании толщи залегают морские отложения *киялинской (K_1 ks)* и *покурской (K_{1-2} pk)* свит, представленные цветными известковистыми глинами с прослоями алевритов и песков (20-110м), а в верхней части на севере междуречья – континентальными песчано-глинистыми угленосными отложениями, глауконитовыми песками, глинистыми алевритами и песчанистыми глинами *симоновской (K_2 smn)* и *сымской (K_2 sm)* свит суммарной мощностью до 60м.

Последняя трансгрессия моря, произошедшая в палеоцен-эоценовое время при прогибании территории, привела к образованию довольно выдержанной по простиранию опоковидно-глинистой *люлинворской свиты (P_2 ll)*, являющейся региональным водоупором мощностью до 20-40м. Он разделяет зоны активного и относительно замедленного водообмена. Последовавшее затем чередование периодов усиления и ослабления темпов погружения территории привело к образованию в разрезе осадочного чехла различных геолого-генетических комплексов. С фазами активизации тектонических движений связано формирование аллювиальных отложений преимущественно песчаного состава *кусковской (P_2 ks)* и *юрковской (P_{2-3} jr)* свит, а с фазами стабилизации тектоники или усилением темпов прогибания связано образование озерно-аллювиальных, озерно-болотных и озерных осадков с преобладанием глинисто-алевритового материала *новомихайловской (P_3 nm)* и *лагернотомской (P_3 lg)* свит.

В основании разреза плейстоцена залегают отложения *кочковской* свиты. Ее верхняя часть представлена разнозернистыми песками с прослоями серых известковистых глин или тяжелых суглинков *(lQ_E kč)*, в подошве залегают гравийно-галечниковые отложения *(aQ_E kč)*. Аллювиальные четвертичные отложения *(aQ_{II-III})* выполняют древние ложбины стока северо-восточного простирания, имеющие глинистый или песчано-гравийный состав. Почти сплошное распространение имеют покровные лессовидные суглинки-супеси *(vQ_{III-IV})* мощностью до 10м. В долинах рек распространены отложения надпойменных террас *($a^{1-2}Q_{IV}$)* и современные пойменно-русловые отложения *(aQ_{IV})*. Отложения болот и озер представлены илами, сапропелями, торфами *(laQ_{IV})*. Мощность четвертичных отложений варьирует от 35 до 60м.

Породы осадочного чехла района (рис.1) состоят до 97-99вес.% из минералов легкой фракции (кварца, полевых шпатов, слюд, глин, карбонатов) и только на 1-3вес.% - из минералов

тяжелой фракции (магнетит, ильменит, хромит, лейкоксен, циркон, турмалин, рутил, анатаз, гранат, сфен, апатит, эпидот, бурая и зеленая роговые обманки, пироксены, сидерит, пирит и пр.).

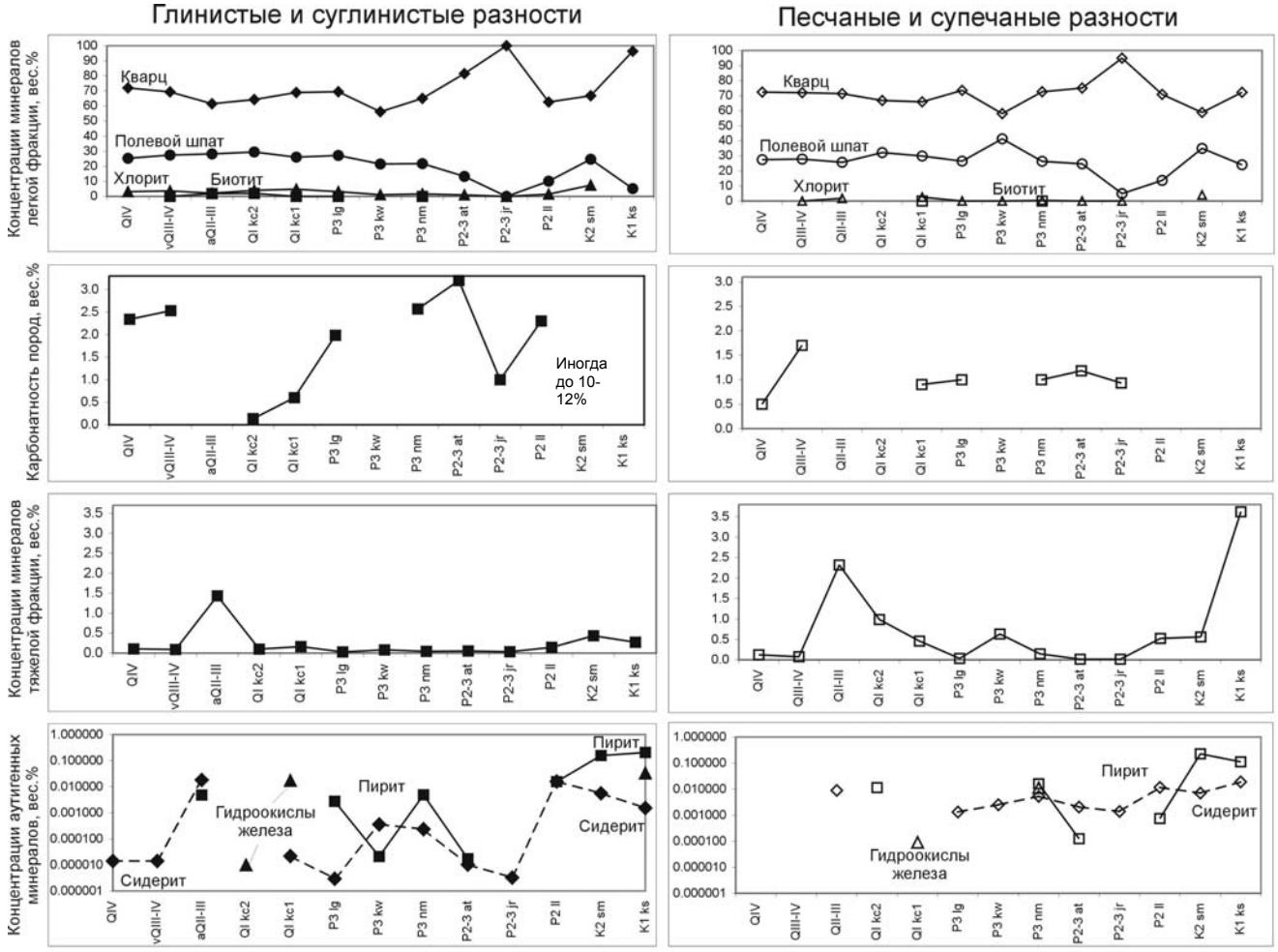

Рис. 1. Минералогический состав пород, слагающих водовмещающую толщу мезозойско-кайнозойского возраста, вес.%

Карбонатность пород составляет 1-2,5вес.%, а максимальные ее значения достигают 3вес.% в составе лессовидных суглинков плейстоценового возраста и 10-12вес.% - для глинистых разностей отложений симоновской свиты позднемелового возраста, где сидерит выполняет трещины или образует стяжения. Химический состав пород района в среднем не имеет существенных отклонений от кларков, рассчитанных для терригенных отложений земной коры. Анализ литологического состава пород, изученного для всех стратиграфических подразделений разреза, указывает на высокое содержание псаммитовой фракции в составе глин и суглинков, и пелитовой фракции - в составе песков и супесей, за исключением песков юрковской свиты.

Глава 4. Гидрогеологические условия района Томского водозабора

Для целей водоснабжения интерес представляют комплексы зоны активного водообмена (от неоген-четвертичного до верхнемелового), эксплуатируется палеогеновый (рис.2).

Водоносный комплекс неоген-четвертичных отложений. Водовмещающими отложениями являются супеси, пески тонко-мелкозернистые и торф суммарной мощностью до 40-50м, а водоупорными - глинистые и суглинистые отложения озерно-аллювиального и субаэрального генезиса крайне неравномерного распространения мощностью до 28м. Поэтому воды этого комплекса питаются за счет атмосферных осадков и гидравлически взаимосвязаны с поверхностными. Данный комплекс является основным источником восполнения запасов эксплуатируемого Томским водозабором палеогенового водоносного комплекса. Наиболее обводнены песчано-гравийно-галечниковые отложения кочковской свиты (aQ_E *kč*), а также –

песчано-галечные, местами - существенно глинизированные отложения ложбин древнего стока (aQ_{II-III}). Активный водообмен в пределах комплекса и отсутствие хорошо растворимых минералов в отложениях создают условия для формирования пресных и ультрапресных (гидрокарбонатных кальциево-магниевых) вод с минерализацией от 0,2 до 0,5 г/л.

Палеогеновый водоносный комплекс является самым водообильным. Многослойная толща песков, песчано-галечниковых отложений, алевритов, глин с линзами углей имеет мощность до 200м.

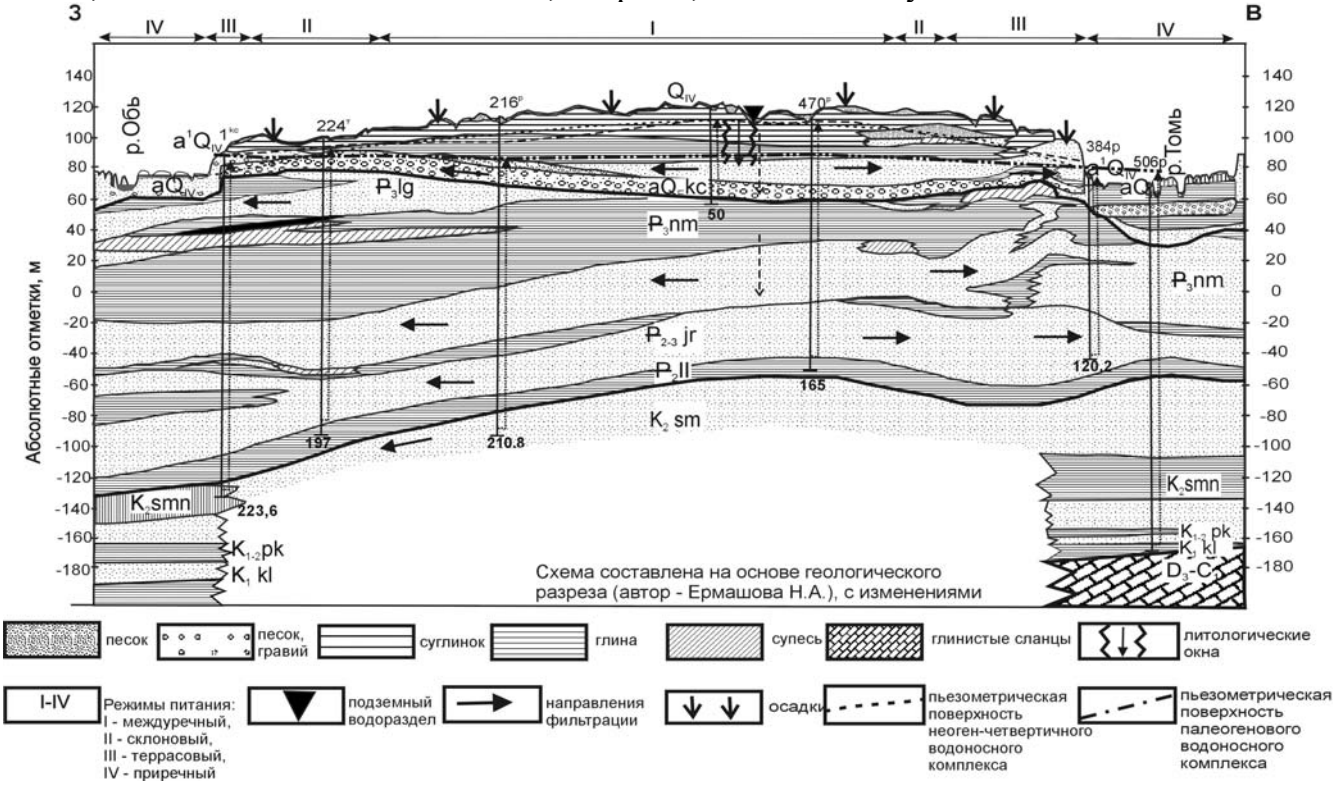

Рис. 2. Схема гидрогеологического строения и условий питания вод района Томского водозабора

Воды комплекса напорные и высоконапорные. Глубина залегания палеогеновых водоносных отложений изменяется от 14м на юго-востоке района, до 90м на водоразделе, а мощность - от 4 до 108м соответственно. Наиболее обводнены песчаные и песчано-гравийные отложения юрковской свиты ($P_{2-3}jr$) в склоновых частях водоразделов и в долинах рек. Однако, максимальные запасы вод приурочены к отложениям новомихайловской (P_3nm) свиты. Дебиты скважин колеблются от 1 до 53 л/с при понижениях уровней от 2 до 15 м, а коэффициенты водопроводимости на разных участках междуречья изменяются от 100 до 3600 м^2/сут. Модуль прогнозных эксплуатационных ресурсов комплекса по территории района колеблется от 0,03 до 8,4 л/(с·км^2), среднеплощадные значения - от 2,2 до 2,8 л/(с·км^2). Благодаря развитию депрессионной воронки вдоль линий скважин Томского водозабора, охватившей всю северную часть Обь-Томского междуречья, разгрузка в р.Томь со стороны водораздела перехвачена.

Водоносный комплекс верхнемеловых отложений объединяет горизонты симоновской и сымской свит ($K_2 smn$, $K_2 sm$). Эти отложения суммарной мощностью от 0 до 250м залегают в пределах района на глубине 200-280 м от поверхности. В подошве симоновской свиты на севере Обь-Томского междуречья залегают отложения киялинской и покурской свит, а на участках размыва - кора выветривания или палеозойские отложения (D_3-C_1). Водообильными являются отложения сымской свиты, представленные каолинизированными хлоритовыми песками с прослоями глинистых алевритов и песчаных глин. Подземные воды высоконапорные, абсолютные отметки напоров к северо-западу от Томского выступа снижаются от 110 до 80м. Дебиты скважин, вскрывающих отложения сымской свиты, составляют 1,5-14,6 л/с при понижении уровня на 5,5-28м. Коэффициенты фильтрации чистых песков изменяются от 1,5 до 10-15 м/сут, а водопроводимости - до 80-460 м^2/сут, но чаще коэффициенты фильтрации низкие.

Гидродинамической особенностью района Томского водозабора является усиливающаяся во время эксплуатации подземных вод взаимосвязь палеогенового и неоген-четвертичного водоносных комплексов, установленная на локальных участках Обь-Томского междуречья методом откачек. Исследования гидродинамического режима подземных вод района показали, что приречный режим подземных вод неоген-четвертичного комплекса в значительной степени зависит от режима крупных рек, имеет годовую амплитуду до 1-2м, в то время как остальные типы режимов (междуречный, склоновый и террасовый) автономны, а их годовая амплитуда для ненарушенного режима убывает от рек к водоразделу от 1,2м до 0,3-0,5м.

Гидродинамические нарушения достигли максимальных амплитуд в первые годы эксплуатации месторождения. Сработка упругих запасов эксплуатируемого горизонта привела к изменению напоров неоген-четвертичного комплекса, особенно в районе первой очереди водозабора, что повлекло за собой трансформацию ландшафтов. Произошло также понижение напоров вод верхнемелового комплекса, которое, по данным ОГУП ТЦ «Томскгеомониторинг» (2001), составило на некоторых участках до 3м. Глубина депрессионной воронки палеогенового комплекса максимально достигала 15м, а потом стабилизировалась на уровне 10,9м. Затем восполнение запасов месторождения происходило за счет гравитационных ресурсов неоген-четвертичного комплекса, о чем свидетельствует зафиксированное ОГУП ТЦ «Томскгеомониторинг» его локальное осушение на критическую величину – более 30%. Депрессионная воронка охватила всю северную часть Обь-Томского междуречья, ограничиваясь крупными реками и границей выклинивания палеогенового комплекса. Питание неоген-четвертичного и палеогенового комплексов происходит за счет инфильтрации снеготалых и дождевых вод в местах опесчанивания разреза южной и юго-восточной частей Обь-Томского междуречья. Разгрузка потоков происходит через вышележащие комплексы в долинах рек.

Глава 5. Геохимия природных вод района исследований

Химический состав атмосферных осадков района Обь-Томского междуречья формируется в результате местной или трансграничной миграции атмосферных аэрозолей, переносимых со стороны прилегающих регионов Сибири, Казахстана, Алтая или Саян. Количество частиц незначительно, поэтому низкая минерализация атмосферных осадков обязана взаимодействию воды с атмосферными газами (табл.1). Вклад техногенной составляющей незначителен, фиксируется по присутствию сульфат-иона и микропримесей. Под пологом леса, особенно хвойного, осадки обогащаются биогенными элементами – K^+, HCO_3^-, NH_4^+, PO_4^{3-} и также - Mg^{2+}, а их минерализация увеличивается почти вдвое – от 30 до 45-62 мг/л.

Особенностью лизиметрических вод доминирующих в районе подзолистых почв является присутствие биогенных компонентов, особенно в водах горизонта A_0. По мере движения почвенных вод к подстилающим породам, они обедняются биогенными элементами (C, N, P, Ca, K) и обогащаются Si, Mg, Na, иногда Fe, Al. После прохождения почв растворы становятся гидрокарбонатными кальциевыми, а их минерализация достигает 200-330мг/л.

Превышение осадков над испарением, бедность почв и почвообразующих отложений района растворимыми соединениями обусловливают малую минерализацию речных вод (0,2-0,5г/л). Среди катионов доминирует Ca, реже Mg и Na. Из анионов преобладает HCO_3^-, реже Cl^- и SO_4^{2-}. Реакция вод слабокислая, нейтральная или слабощелочная (pH=5,5-9). Озера пресные (0,3-0,6г/л), воды гидрокарбонатного класса с разным набором катионов. Воды болот Обь-Томского междуречья пресные (0,2-0,7г/л), слабокислые, иногда до слабощелочных (pH=6,1-8,7), тип – гидрокарбонатный, с пестрым катионным составом. Они содержат высокие количества растворенных органических кислот гумусового ряда - до 60мг/л (по Попову и др., 2002), повышенные содержания растворенной углекислоты, иногда - марганца и железа (до 9-15мг/л).

Подземные воды района являются маломинерализованными растворами, содержащими ионно-солевые компоненты, микрокомпоненты, газы, органические вещества, сложные

микропримеси органического (фенолы, нефтепродукты и т.д.) и неорганического (пестициды и пр.) происхождения, микроорганизмы. Все подземные воды (табл.1) относятся к четырем типам (по С.А. Щукареву, в порядке убывания) – гидрокарбонатному кальциево-магниевому, гидрокарбонатному натриевому, гидрокарбонатно-хлоридному натриевому и хлоридному натриевому. По газовому составу они азотно-углекислые, кислорода до 1-3мг/л.

Таблица 1. Средний состав природных вод района Томского месторождения

Параметры	Единицы измерения	Дождь	Снег[1]	Осадки под пологом леса[2]	Лизиметрические A_0[2]	Лизиметрические почв A_{1-2}[3]	Реки и озера[3]	Болота[4]	Верховодка[4]	Водоносные комплексы		
										Неоген-Четвертичный	Палеогеновый[5]	Верхнемеловой[6]
pH		5,9	6,6	5,8	6,0	7,7	7,2	6,9	6,8	7,1	7,3	8,0
Na^+	мг/л	2,3	1,5	2,5	2,8	13	9,9	13,7	29,8	7,8	14,3	134,9
K^+	«»	-	0,1	-	-	-	-	-	-	1,6	1,3	4,0
Ca^{2+}	«»	3,4	2,9	4,2	7,9	30	57,4	67,3	63,3	69	75,8	50,1
Mg^{2+}	«»	1,1	1,1	1,1	2,1	15	10,3	10,7	9,4	10,2	14,5	28,8
NH_4^+	«»	2,9	0,4	4,9	4,8	-	0,3	1,8	0,8	0,8	0,62	1,0
Cl^-	«»	1,6	4,1	1,25	5,1	7,5	8,3	11,6	19,5	3,8	6,2	205,0
SO_4^{2-}	«»	4,8	0,3	1,2	6,2	4,0	2,9	0,8	5,0	0,4	-	0,0
HCO_3^-	«»	23,5	16,8	32,8	34,7	246	235	279	244,2	304,8	345	302,9
CO_2	«»	5,9	10,6	-	-	-	5,7	-	19,6	14,8	19,8	25,2
NO_2^-	«»	0,27	0,04	-	0,4	-	-	-	0,1	0,01	0,004	0,0
NO_3^-	«»	-	0,74	0,4	15,8	-	0,8	0,3	3,3	1,4	0,03	0,2
Fe общ.	«»	0,15	0,21	0	0,2	0,2	0,4	1,6	2,2	4,2	3,4	4,8
Fe^{2+}	«»	-	0,12	-	-	-	-	-	1,7	2,7	-	3,7
Fe^{3+}	«»	-	0,09	-	-	-	-	-	0,5	1,5	-	1,1
Окисля-емость	мгО/л	12,1	1,6	34,5	86,5	-	6,3	24,1	8,8	2,7	2,1	1,6
H_4SiO_4	мг/л	-	3,4	8,7	11,4	16,2	20,0	-	32,0	25,1	7,5	29,5
I^-	«»	-	0,21	-	-	-	0,17	-	-	0,18	0,003	-
F^-	«»	-	0,13	-	-	-	0,18	-	0,20	0,27	0,27	0,32
Br^-	«»	-	0,28	-	-	-	0,70	-	0,10	0,13	0,18	-
Li	мкг/л	-	1	-	-	-	5	-	-	-	8,0	30,0
Cu	«»	-	20	0,5	2	7	2,7	2,2	14	2,3	1,1	4,2
Zn	«»	5	8	5	7	15	15,6	-	38,2	21,5	55	32
Pb	«»	-	10	1	1	1	1,5	2,7	3,9	2,7	1,4	9
Mn	«»	-	60	20	112	26	93	107	254	300	10,7	100
Mo	«»	-	10	0,1	0,2	-	10	-	32	-	1	-
Al	«»	1	100	-	-	-	140	-	-	-	40	-
As	«»		-	-		-	1	-		0,4	1	1
Sr	«»	-	50	3	14	-	116	150	167	147	-	-
Ti	«»	-	-	66	-	20	19	5,2	94	66	-	-
Hg	10^{-8}г/л	-	5	-	-	-	3	-	3	0	22	1
Минерали-зация	мг/л	39	38,5	54	74	332	327	386	408	387	458	721
Анализов		**38**	**14**	**19**	**19**	**3**	**124**	**19**	**35**	**38**	**72**	**40**

Примечание: [1]А.М. Альшанский, Н.Г. Альшанская (2001); [2]В.А. Коробкин (1982); [3]С.Л. Шварцев (1998, стр.86.), [4]Н.А. Ермашова; [5]ТЦ «Томскгеомониторинг» и ТФ ИГНГ СО РАН; [6]без учета аномальных значений; - нет данных

В пределах гидрогеохимического разреза наблюдается обычная зональность, причина которой состоит в смене условий водообмена с активного промывного на относительно замедленный. Максимальной минерализацией обладают воды отложений симоновской-сымской

свит верхнемелового возраста, а минимальной – воды неоген-четвертичного и палеогенового комплексов в области их выклинивания в Притомской зоне. Пространственная изменчивость макрокомпонентов имеет ярко выраженную тенденцию к возрастанию их содержаний в пределах одного водоносного комплекса в северо-западном направлении, по мере удаления от области питания и погружения неоген-четвертичных и палеогеновых водоносных отложений, главным образом, за счет гидрокарбонат-иона и кальция. Для верхнемелового водоносного комплекса увеличение минерализации вод происходит на северном, северо-западном и восточном участках Обь-Томского междуречья, часто - за счет хлора и натрия. Солоноватые воды данного комплекса нельзя считать аномальными. Так, по одной теории, происходит длительный промыв морских отложений в Притомской зоне, который привел к их локальному опреснению, в то время как в относительно застойных участках воды комплекса имеют природный HCO_3-Na-Ca или Cl-Na состав, а согласно второй – в этот комплекс происходит разгрузка трещинных вод глубинных разломов фундамента. Значения pH вод возрастают вниз по разрезу от 6,8 для верховодки до 8,2 для верхнемелового комплекса. Пропорционально росту pH и некоторому снижению значений Eh возрастают содержания Fe^{2+}, H_4SiO_4, $Mn_{общ}$, которые лучше мигрируют в щелочной и слабовосстановительной обстановках. Содержания железа возрастают, начиная с почв, где их средние составляют 0,2мг/л, достигая 2,2мг/л в составе верховодки и 0,9-17мг/л - в палеогеновом и верхнемеловом комплексах. Содержания биогенных компонентов вод (CO_2, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-, SO_4^{2-}, Br^- и показателя окисляемости) имеют максимальные значения в лизиметрических водах почв или верховодке. Повышенные содержания Cu и Zn обнаруживаются в снеговой воде, верховодке, а в пределах водоносных комплексов их поведение не имеет закономерностей. Средние содержания Na, K, F, и Sr возрастают вниз по разрезу пропорционально снижению интенсивности водообмена, в то время как содержания Cl ведут себя не закономерно. Его средние содержания вне участков развития аномалий в верховодке оказались выше, чем в водоносных комплексах.

Воды эксплуатируемого палеогенового комплекса являются пресными (минерализация 330-600мг/л, при средней 458мг/л), слабокислыми или слабощелочными (pH=6,2-8,0), жесткими (4-7 мг-экв/л), гидрокарбонатными кальциево-магниевыми. Общая минерализация вод в северо-западном направлении возрастает от 0,3 до 0,6 г/л, в основном за счет ионов HCO_3^-, Ca^{2+} и Mg^{2+}. Эти воды обогащены Fe в количестве от 0,9 до 17 мг/л.

На фоне пресных вод гидрокарбонатного кальциево-магниевого состава в палеогеновом комплексе выделяют две локальные хлоридно-натриевые аномалии, пространственно охватывающие: первая - северо-западную часть Обь-Томского междуречья и середину 3-й очереди водозабора, и вторая - район д.Коломино и устьевой р.Порос (рис.3). Первая аномалия обнаружена в районе д.Козюлино с минерализацией вод до 2г/л в период разведки месторождения В.Я. Герасимовым (1972). В настоящее время, по данным ТКГРЭ (1984-1995гг.) и ОГУП ТЦ «Томскгеомониторинг» (1995-2003), трансформация фонового состава подземных вод этого комплекса отмечается в скважинах 444р, 458р и 218р – на северо-западе Обь-Томского междуречья, и в скважинах 344р, 351р, 505р и 507р – на востоке. Натрий и хлор появляются незакономерно во времени, часто в не эквивалентных друг другу количествах. Концентрации хлор-иона здесь достигают 270-550, а натрия – 153-230мг/л, которые практически полностью замещают собой другие ионы, а минерализация вод возрастает до 700-1220мг/л. Данная аномалия явилась следствием эксплуатации Томского месторождения водозабором, повлекшей за собой снижение напоров вод палеогенового комплекса. В результате на ряде участков с относительно слабой гидрогеологической изоляцией появились или усилились вертикальные перетоки из нижележащего верхнемелового комплекса. Первые признаки трансформации состава вод эксплуатируемых скважин самой северной окраины водозабора, по данным МП «Томскводоканал» и ТЦ «Томскгеомониторинг», появились лишь в начале 90-х годов, хотя данная очередь водозабора непрерывно работает начиная с 1984г.

Воды хлоридно-натриевых аномалий, выявленных в пределах эксплуатируемого комплекса, представляют результат смешения разных по своему геохимическому типу вод. По В.М. Гольдбергу, данный тип трансформации состава вод можно назвать убывающим, так как, по данным МП «Томскводоканал» (2001), после снятия нагрузки на скважину состав вод в ней постепенно изменяется на фоновый, гидрокарбонатный кальциевый. Такого рода изменения, вероятнее всего, связаны с подтягиванием «купола» солоноватых вод, расположенного вниз по гидродинамическому потоку относительно водозаборных скважин. Очевидно, что существовавшая здесь, на севере междуречья, хлоридно-натриевая аномалия продвинулась в юго-восточном направлении, охватив ряд действующих скважин водозабора. Поэтому факторами, способствовавшими появлению хлоридно-натриевой аномалии в пределах эксплуатируемого комплекса, мы считаем изменение направлений гидродинамического потока, приведшее к подтягиванию контура солоноватых вод в плане и в разрезе. Пестрый химический состав вод, зафиксированный в районах аномалий (Cl-HCO_3-Na-Ca или HCO_3-Cl-Na-Ca), объясняется пропорциями смешения растворов из разных комплексов.

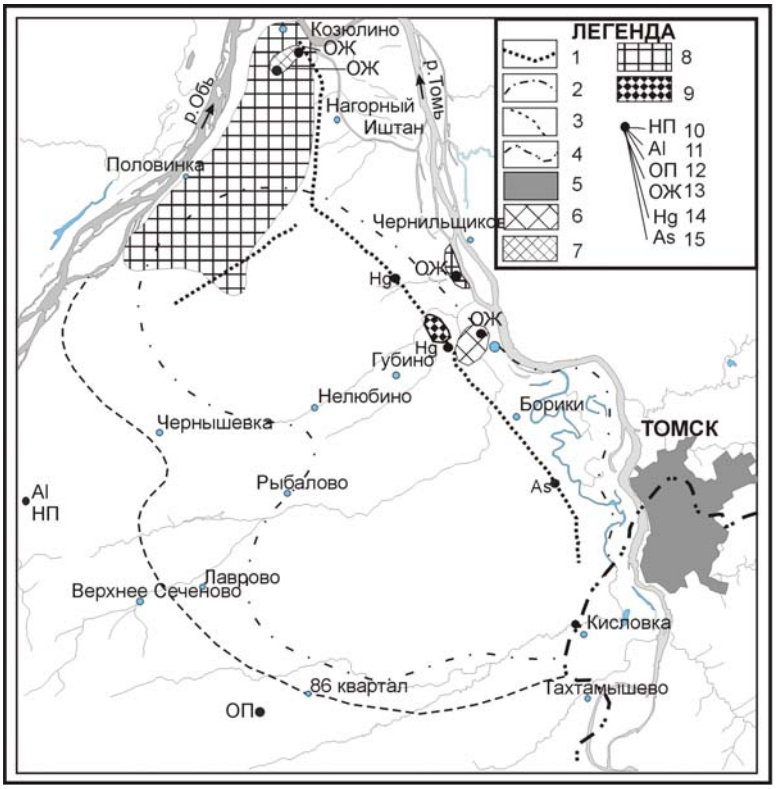

Рис.3. Схема гидрогеохимических изменений в составе вод эксплуатируемого комплекса (Льготин и др., 2000, с изменениями). 1- линии скважин Томского водозабора; 2-3 – границы воронок депрессии: 2 - неоген-четвертичного комплекса; 3 - палеогенового комплекса; 4 - граница выклинивания отложений палеогенового возраста; 5 – городская территория; 6-7 - содержания Cl и Na превышают: 6 - фоновые, 7 – СанПиН; 8 – области повышенной минерализации вод за счет роста концентрации Na и Cl; 9 - повышенные относительно фоновых содержания цинка (скв.44э-60э) на 1993-94гг.; 10-14 - содержания превышают СанПиН: 10 – нефтепродукты; 11 – алюминий; 12 – окисляемость перманганатная; 13 – общая жесткость; 14 – ртуть; 15 - повышенные относительно фоновых значений содержания мышьяка.

Природа другой аномалии, расположенной на юго-востоке междуречья, в районе от д.Коломино до устьев рек Порос и Кисловка (группы скважин 501р-505р-502р-504р, 343р-344р-348р, 506р-507р-508р), окончательно не выяснена. Здесь воды верхнемелового комплекса являются пресными гидрокарбонатными кальциевыми, а воды палеогенового комплекса – солоноватыми, Cl-Na-Ca типа. Для выявления генезиса аномалии необходимы исследования.

Изучение содержаний микроэлементов в водах палеогенового комплекса показало, что в подавляющем большинстве случаев они близки к фоновым значениям. Содержание Li, в среднем близкое к 8 мкг/л, в некоторых скважинах достигает 10-22 мкг/л. Происхождение Li естественное, его повышенные концентрации (до 30мкг/л) характерны для вод верхнемелового водоносного комплекса. Содержания фтора в водах района невысокие и составляют в среднем около 250-500мкг/л. Содержания брома находятся в пределах 300-800мкг/л. В пространственном распределении микроэлементов можно обнаружить некоторое влияние антропогенного фактора. К подобному выводу нас привело сравнение содержаний данных элементов со значениями, обнаруженными в водах неоген-четвертичных отложений, которые содержат эти элементы в более высоких количествах. Наиболее легко мигрирующие элементы (Hg, Zn, Ni, V, Mo, и

отчасти - Mn, Cu и Pb) имеют повышенные содержания в водах палеогенового комплекса в районе 1-й и начала 2-й очередей скважин водозабора. Особенно контрастны аномалии цинка и ртути; для изучения их происхождения требуются дополнительные исследования. По мнению В.А. Кирюхина и др. (1993), некоторые из этих элементов относятся к группе, которая способна даже в естественных условиях достичь высоких содержаний (Fe, Mn, Hg, F, Si, Al, Br, Cd и Pb). Геохимические условия, сложившиеся в данном водоносном комплексе, особенно в глубокой его части, способствуют концентрированию таких элементов, а усиление взаимосвязи всех комплексов приводит к смешению вод зон относительно застойного и активного водообмена, обогащенных этими элементами в разной степени. Это и приводит к появлению столь контрастных аномалий (см. рис. 3) микроэлементов в пределах эксплуатируемого комплекса.

В водах палеогенового комплекса в 1993-94гг. Ю.П.Туровым (ИХН СО РАН) обнаружены сложные органические микропримеси: диалкилфталаты (20-90), этиловые (1-26) и пропиловые (1-2) эфиры жирных кислот, алкилбензолы (05-0,8), органические фосфаты (0,61), холестан (1-2мкг/л) и другие. Значения фенольного индекса (0,3-15,3, среднее – 0,72мкг/л) в водах разных комплексов достигали десятков мкг/л еще в период разведки месторождения, что говорит об их природном генезисе. Значимой связи содержаний фенолов с сезонными и иными факторами не выявлено. А.Э. Конторович и др. (2000) считают, что присутствие в водах Томского водозабора углеводородов (парафинов, жирных кислот, эфиров жирных кислот), фенолов, диалкилфталатов и фосфатов имеет естественную природу, хотя влияние антропогенного фактора в их распределении все же прослеживается. Для определения источника обнаруженных трибутилфосфата (1-18мкг/л) и дибутилфталатов (6-45мкг/л) необходимы исследования.

Все изученные группы микроорганизмов в водах палеогенового комплекса являются типичными для природных условий. Исследовались группы сапрофитов, олиготрофов, амонификаторов, автохтонных, тионовых, целлюлозоразрушающих, денитрофицирующих, окисляющих углеводороды метанового ряда и коли-бактерий. Некоторые группы микроорганизмов не были обнаружены в пластовой воде благодаря геохимической специфике вод района (сульфатредуцирующие). Группы бактерий, разрушающие свежую органику, малочисленны, что свидетельствует о высокой степени ее разложения на момент поступления в водоносный горизонт, - поэтому интенсивность развития олиготрофных микроорганизмов здесь выше, чем аммонификаторов, сапрофитов и целлюлозоразрушающих бактерий. Денитрифицирующие и углеводородокисляющие группы бактерий обладают максимальной интенсивностью развития. Любопытно, что в скважинах первой водозаборной линии интенсивность развития большинства групп бактерий уменьшается до нулевых значений, свидетельствующих о стерильности некоторых проб воды в отношении многих гетеротрофных организмов, что для природной среды совершенно не характерно. Эти скважины расположены в районе максимального развития депрессионной воронки. Возможно, что вследствие водоотбора оптимальные условия жизни микроорганизмов нарушаются, и это приводит к их угнетению.

Глава 6. Эколого-геохимическое состояние подземных вод района исследований и тенденции трансформации их состава

В главе приводится оценка качества природных и подземных вод, описан гидрогеохимический режим верхних комплексов за период 30 лет. Показано, что превышения нормативных значений для природных вод наблюдаются в непосредственной близости от населенных пунктов, животноводческих и сельскохозяйственных предприятий (табл.2). Основными загрязнителями поверхностных вод выступают нитраты, нитриты, СПАВ, нефтепродукты, сульфат-ион, хлор и натрий, пестициды, масштабы использования и содержания в водах которых в последние десятилетия сильно сократились, а также ряд специфических загрязнителей, характерных для выбросов предприятий г.Томска. В отличие от поверхностных и грунтовых вод, воды палеогенового водоносного комплекса не несут на себе явных признаков

антропогенного загрязнения. Превышения величин СанПиН в водах эксплуатируемого комплекса наблюдаются повсеместно для таких природных компонентов как $Fe_{общ.}$, $Mn_{общ.}$, и только в некоторых случаях - для Ca^{2+}, Si, NH_4^+, показателей общей жесткости и ХПК (см. рис.3).

Таблица 2. Примеры техногенно-загрязненных природных вод района исследований с повышенными относительно фоновых или нормативных содержаниями компонентов

Параметры		Поверхностные объекты				Неоген-четвертичный Комплекс		Палеогеновый комплекс		
Дата		1995-96. (3 анализа)	01.09.95	11.08.99	11.08.99	20.06.97	21.04.97	11.11.85	24.07.97	28.09.98
Объект (Возраст отложений)	Единицы измерения	р.Порос ниже дд.Карбышево и Лавриново	р.Жуковка у д.Головина	р.Ум	р.Черная	Колодец д.Чернышевка *($aQ_E^kc_2$)*	с.Курлек *(a^2Q_{IV})*	351р *($P_{2-3}jr$)*	56э *(P_2jr)*	с.Киреевское *($P2jr$)*
pH		7,6	8,2	7,9	8	7,3	7,9	8,1	6,7	8,5
Ca^{2+}	мг/л	48,1	66,1	50,1	50,1	**160,32**	96,19	94,19	76	70,14
Mg^{2+}	«»	5,3	8,51	14,58	17,01	17,01	9,72	**55,9**	26,4	12,15
Na^+	«»	3,0	6,6	4,43	7,42	8,15	9,69	**168,29**	8,8	14,4
Fe^{2+}	«»	***0,4***	***0,58***	***0,56***	0,08	0,05	0,86	***7***	***1,5***	0,42
Fe^{3+}	«»	***1,1***	***1,26***	***1,72***	0,2	0,04	1,82	***3***	***0,5***	0,52
SO_4^{2-}	«»	0,0	0,0	**4,94**	**8,23**	-	-	-	1,0	-
Si	«»	4,3	6,9	6,8	6,0	8,1	9,8	3,75	***11,2***	***17,5***
HCO_3^-	«»	181,0	268,5	219,7	238,0	512,6	286,8	348	366	298,9
$Mn_{общ.}$	«»	0,1	0,136	0,111	0,115	0,11	0,33	-	0,1	0,121
Cl^-	«»	2,4	1,77	2,84	2,84	**34,39**	**31,91**	***390***	2,8	1,77
NH_4^+	«»	0,7	0,52	0,37	0,14	0,52	1,02	1,55	1	0,32
NO_2^-	«»	0,0	0	**0,31**	**0,31**	**16,56**	-	-	0.00	-
NO_3^-	«»	0,06	0,02	0,00	0,00	0,01	0,09	-	**0,22**	0,02
F^-	«»	0,12	0,35	0,22	0,21	0,22	0,35	-	0,66	-
Br^-	«»	***1,9***	***0,53***	***0,27***	0,035	***0,27***	0,13	-	***0,67***	-
PO_4^{3-}	«»	-	-	**0,172**	**0,172**	-	-	-	0,015	-
Минерализация	«»	250	331	299	386	735	-	***1069,73***	483,0	398,0
Окисляемость	мгО/л	***6,1***	***5,6***	***6***	***6,48***	4,16	2,4	1,92	0,96	2,4
Li	мг/л	-	-	-	-	13	6,5	-	15	-
Hg	мкг/л	0,03		0,0025	0,0025	-	-	-	0,013	-
Zn	«»	-	-	34	5	-	-	-	6	33
Cd	«»	-	-	0,3	0,3	-	-	-	0,1	0,3
Pb	«»	2	-	2,3	0,9	0,8	0,8	-	0,5	0,5
Cu	«»	21	-	1,3	1	4	7	-	0,6	0,8
Al	«»	200	-	184	75	-	-	-	40	391
As	«»	-	-	1,3	1,3	-	-	-	-	-
Sr	«»	200	456	444	344	160	140	-	-	410
Be	«»	-	-	0,025	0,025	-	-	-	-	-
Фенолы	«»	0,6	-	1,3	0,9	-	-	-	-	5
Нефтепродукты	«»	-	-	5	5	-	-	-	-	**44**
СПАВ	«»	-	-	**5**	**5**	-	-	-	-	**23**

Примечание: по данным Альшанского (2001); полужирным – превышают фоновые; полужирный курсив – превышают СанПиН 2.1.4.1074-01.

Вещества природного происхождения, например, фенолы и нефтепродукты превышают санитарные нормативы эпизодически, а их присутствие обусловлено ландшафтными или гидрогеологическими условиями района. Загрязнение палеогенового комплекса носит локальный характер, а загрязнители (нитраты, нитриты, пестициды, тяжелые металлы,

органические микропримеси и т.д.) фиксируются в следовых или превышающих фоновые количествах. В целом, воды эксплуатируемого комплекса обладают высоким качеством.

В пределах развития хлоридно-натриевых аномалий чаще отмечаются превышения относительно фоновых содержаний, а превышения СанПиН фиксируется только в нескольких наблюдательных скважинах. Природа аномалии, обнаруженной в восточной части Обь-Томского междуречья (см. рис.3, скв.351р-352р-353р, из-за масштаба не выделена отдельно), по данным ТЦ «Томскгеомониторинг» (2001), - исключительно техногенная. На данном участке длительно изливается скважина, вскрывающая высоконапорный верхнемеловой водоносный комплекс, что привело к созданию искусственной аномалии в вышележащих комплексах. В целом, ситуация с возникшими Cl-Na аномалиями не сказалась на качестве вод Томского водозабора. Охваченные ими водозаборные скважины переведены в щадящий режим эксплуатации, а смешение в едином водоводе снижает содержания вредных элементов до рекомендованных уровней.

Растущую обеспокоенность вызывают в последнее время повышенные содержания кремния в воде Томского подземного водозабора. В 1999-2001гг. лаборатория МП «Томскводоканал» фиксировала в водах, поступающих на станцию санитарной подготовки перед подачей в сеть центрального водоснабжения, содержания кремния от 10,2 до 12мг/л (СанПиН для Si - 10мг/л). После прохождения цикла аэрации вод содержания кремния в водах несколько снижаются за счет соосаждения с гидроокисями железа и марганца на песчаных фильтрах станции водоподготовки. В действительности, за 30 лет эксплуатации месторождения, концентрации водорастворенного кремния изменились незначительно. В ряде скважин в первое десятилетие эксплуатации наблюдался небольшой прирост содержаний этого элемента, после чего ситуация стабилизировалась, что подтверждается статистическими критериями.

Специальные анализы на широкий спектр органических примесей (хлорорганические пестициды, этиловые эфиры, ароматические углеводороды и прочие) также показывают, что качество вод палеогенового комплекса отвечает высоким требованиям (содержания весьма далеки от предельно допустимых), хотя исключать наличие начальных признаков антропогенного загрязнения нельзя. Одним из таких признаков является присутствие повышенных относительно фоновых содержаний нитратов, нитритов, иона аммония, фосфатов, сульфат-иона в отдельных наблюдательных скважинах южной и восточной районах Обь-Томского междуречья. Повышенные значения этих компонентов в водах комплекса и показателя ХПК пространственно привязаны к областям интенсивного сельскохозяйственного освоения. Об этом же свидетельствуют результаты анализа хлорсодержащих пестицидов (1993-94гг.), которые показали, что все скважины, в которых обнаружены пестициды, расположены в юго-восточной, хозяйственно освоенной части междуречья, и приурочены к зоне максимального развития воронки депрессии. Однако, в большинстве проб эти токсичные соединения не фиксируются. Только в одной из эксплуатационных скважин (скв.8э) зафиксированы пестициды гептохлор (0,12 мкг/л, СанПиН - 0,05мг/л) и 2,4-Д (1,5 мкг/л, СанПиН - 0,03мг/л), в соседних режимных скважинах эти же соединения фиксируются в несколько больших количествах (до 0,18 и 2,9мкг/л соответственно). Сверхнормативные содержания нефтепродуктов наблюдаются вне зоны, охваченной депрессионной воронкой, и опасений не вызывают. Максимально обнаруженные количества предположительно техногенных микропримесей (фталатов, алкилбензолов и сложных фенолов) характерны, главным образом, для режимных скважин. Но пространственная приуроченность к наиболее техногенно освоенным участкам Обь-Томского междуречья не подтверждается, что оставляет открытым вопрос генезиса.

Состояние природных вод района Томского водозабора можно назвать достаточно благополучным, несмотря на все возрастающую антропогенную нагрузку на территорию его области питания. Высокая способность к самоочищению водоносных горизонтов, относительно глубокое залегание палеогенового комплекса и довольно низкая проницаемость перекрывающих отложений препятствуют проникновению загрязнителей. В результате 30-летней эксплуатации

месторождения взаимосвязь водоносных комплексов возросла, но это не привело к катастрофическому загрязнению вод. По ряду оцененных показателей, степень загрязнения вод месторождения можно назвать невысокой или начальной.

Глава 7. Формирование химического состава подземных вод района водозабора

На основании изучения гидрогеохимического режима Томского водозабора за 30 лет его эксплуатации выделено три фактора, контролирующих направление трансформации состава подземных вод района: 1) неравномерное исходное распределение минерализации подземных вод, как в эксплуатируемом водоносном комплексе палеогеновых отложений, так и в смежных с ним комплексах, составляющих единую гидродинамическую систему с неполной изоляцией отдельных горизонтов, и как результат - усилившаяся локальная разгрузка нижележащего верхнемелового комплекса, приводящая к развитию в пределах эксплуатируемого комплекса хлоридно-натриевых аномалий с минерализацией вод до 1,22г/л; 2) ускоренный водообмен в пределах палеогенового и неоген-четвертичного комплексов; и 3) неравномерное в пространстве и во времени антропогенное загрязнение поверхностных и близповерхностных вод района, совместно с которыми загрязнители поступают в эксплуатируемый комплекс в процессе фильтрации. Поэтому источники элементов и соединений в составе вод были разделены нами на две группы: *природные* и *техногенные*.

Природные источники элементов в составе подземных вод. Томское месторождение подземных вод междуречного типа обладает большими запасами кондиционных пресных подземных вод, формирование которых происходит на всех стадиях, начиная от атмогенной и заканчивая литогенной. Это подтверждено гидрогеологическими и геохимическими методами. Расчетами по методике С.Л. Шварцева (1998) доказано, что полная минерализация подземных вод неоген-четвертичного, палеогенового и верхнемелового комплексов района Обь-Томского междуречья складывается на 9% на атмогенном этапе, около 33,3% - на биогенном, и на 54,7% - на литогенном, и около 3% растворенного вещества объясняется нами техногенными источниками. По мере инфильтрации ультрапресных метеогенных вод на всех этапах формирования происходит значительная трансформация их состава, обусловленная взаимодействием с атмосферными газами-аэрозолями, растительностью, почвами, породами зон аэрации или полного насыщения. Вне областей развития аномалий, минерализация природных вод района Томского месторождения растет «ступенчато» от этапа к этапу, и постепенно – вниз по разрезу вплоть до верхнемелового водоносного комплекса.

Дальнейшее качественное и количественное изучение источников химических элементов в подземных водах района невозможно без применения термодинамических методов. Данные методы и подходы в области физико-химического моделирования системы вода-порода развиваются начиная с 60-х годов 20-го века. Они развивались Р.М. Гаррелсом, Ч.Л. Крайстом (1968), С.Л. Шварцевым (1978,1998), С.Р. Крайновым, В.М. Швецом, (1987), И.К. Карповым (1968, 1971, 1976), Г.Б. Наумовым, Б.Н. Рыженко (1991), М.Б. Букаты и другими. Результаты расчетов, основанных на таких методах, могут быть использованы для приблизительной оценки и вероятностного прогнозирования реальных гидрогеохимических процессов. В качестве вероятных в данных геохимических условиях процессов нами рассматривались равновесия подземных вод района с первичными и вторичными алюмосиликатами, - глинами (каолинитом, иллитами и монтмориллонитами) и карбонатами (кальцитом, сидеритом и другими).

Равновесия карбонатных минералов с подземными водами. Из исследованных нами карбонатов (кальцита, доломита, магнезита и сидерита) воды Томского месторождения оказались близки к насыщению только относительно кальцита и сидерита (рис.3). Воды основных водоносных комплексов при стандартных условиях пересыщены относительно кальцита и сидерита в большинстве случаев, а при пластовых условиях растворимость этих минералов еще больше возрастает. Данная ситуация легко объяснима, учитывая обычную гидрогеохимическую

зональность в составе вод района. Степень насыщения относительно кальцита прямо связана с ростом общей минерализации и pH растворов вниз по гидрогеохимическому разрезу, а вот для сидерита определяющим фактором является переход к слабоокислительной или восстановительной обстановке, в которой вместо гидроокисей железа формируется сидерит.

Равновесия алюмосиликатных минералов с подземными водами. Алюмосиликатные минералы дают при выветривании основную долю катионов и кремния, содержащихся в водах.

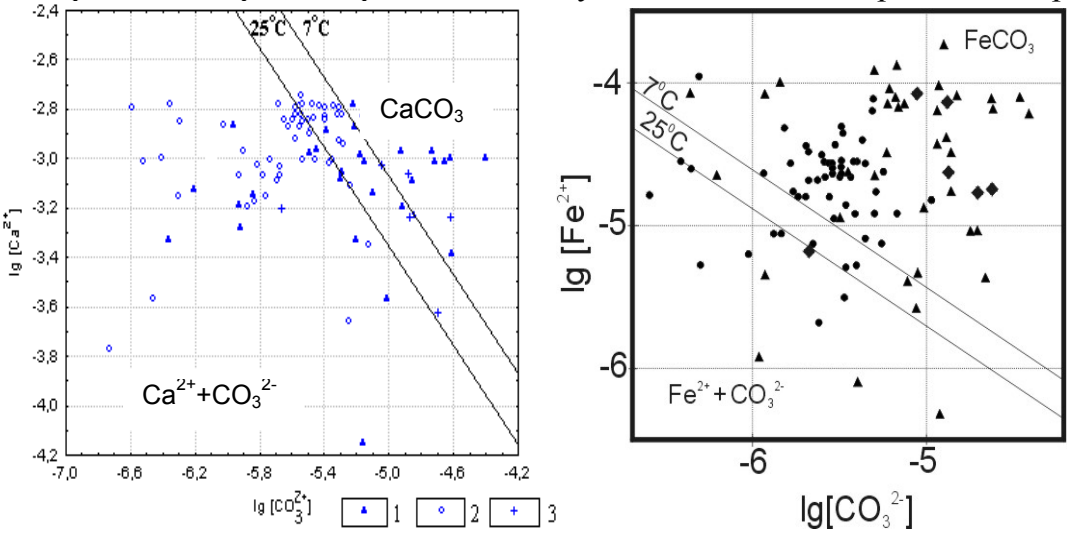

Рис.3. Степень насыщения вод Томского месторождения относительно кальцита и сидерита при пластовой и стандартной температурах. Воды комплексов: 1- неоген-четвертичного, 2- палеогенового, 3– верхнемелового.

На диаграммы (рис. 4-6), нанесены данные, характеризующие степень насыщения подземных вод неоген-четвертичного и палеогенового горизонтов относительно минералов групп алюмосиликатов при стандартных условиях. Разброс точек оказался достаточно широк благодаря значительной изменчивости в активностях кремнекислоты и основных растворенных катионов, что является следствием пространственной изменчивости гидрогеохимических условий Томского месторождения по площади и в разрезе.

На основании выполненных расчетов, воды эксплуатируемого палеогенового комплекса неравновесны относительно всех первичных минералов водовмещающих пород,- полевых шпатов (особенно - анортита), мусковита, а также - биотита, магнетита, граната, пироксенов, роговых обманок (например, антофиллита), эпидота, хлоритов и других алюмосиликатов. Вместе с тем, исследуемые воды равновесны с монтмориллонитами, иллитами, каолинитом, карбонатами. В сложившихся геохимических условиях минералы первой группы активно растворяются, особенно пироксены (геденбергит), эпидот и роговые обманки (например, антофиллит), которые неустойчивы в этих условиях и в результате инконгруэнтного растворения формируют вторичные минералы, связывающие Si, Al, Ca, Mg, Na, K и Fe.

Проблема формирования повышенных содержаний нормируемых элементов на примере железа. Гидрогеохимическая провинция железистых подземных вод на территории РФ, что чрезвычайно осложняет решение проблем водоснабжения ряда регионов, включая Западную Сибирь. Употребление воды, содержащей повышенные концентрации железа приводит к возникновению эндемических заболеваний. Проблеме формирования железистых вод посвящены исследования С.Р. Крайнова, Г.А. Соломина, В.П. Закутина (1987), А.И. Труфанова (1982), С.Р. Крайнова, В.М. Швеца (1987), Ю.К. Смоленцева (1991), В.А. Кирюхина, А.И. Короткова, С.Л. Шварцева (1993) и других. Однако специалисты не пришли к единому мнению в вопросе генезиса железа. Решение этого вопроса является непростой задачей, т.к необходимо решить вопрос, сколько железа переходит в раствор, а сколько связывается вторичными минеральными фазами. Методология его решения изложена С.Л. Шварцевым (1998). Соотношение между выносом водой и накоплением химических элементов во вторичной минеральной фазе применительно к условиям южной тайги в среднем составляет 1:3,8, т.е. только 20,8% всех элементов выносится с подземными водами и 79,2% осаждается в виде

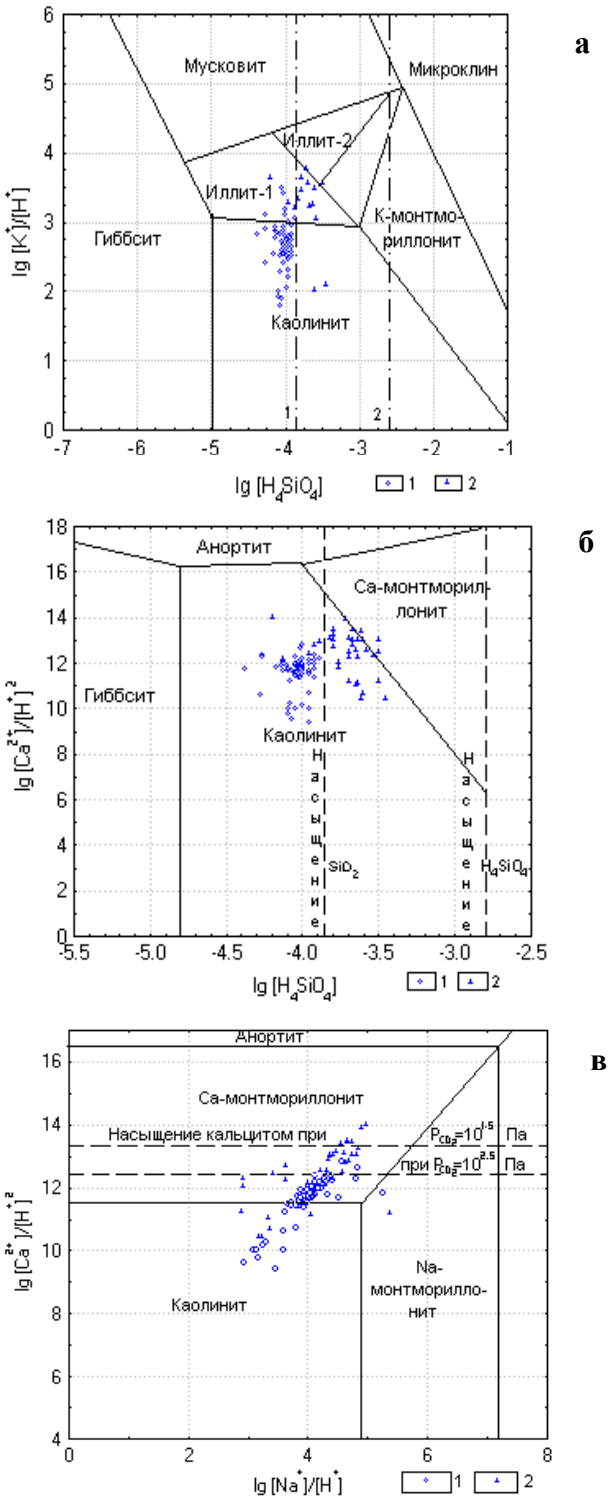

Рис. 4. Диаграммы равновесия

а «микроклин- мусковит -гиббсит -каолинит - иллит -К-монтмориллонит»

б «анортит -гиббсит- каолинит - монтмориллонит»

в «анортит - Са-монтмориллонит - Na-монтмориллонит - каолинит»

с нанесенными данными по составу вод неоген-четвертичного (2) и палеогенового(1) горизонта при 25 ^{0}C.

Линия 1-растворимость кварца, линия 2 - растворимость аморфной H_4SiO_4. Состав иллита-1 : $K_{0.64}(Al_{1.54}Fe_{0.29}^{3+}Mg_{0.19})(Si_{3.51}Al_{0.49})O_{10}(OH)_2$

Состав иллита-2 : $K_{0.6}Mg_{0.25}Al_{2.3}Si_{3.5}O_{10}(OH)_2$

твердой фазы. Применительно к железу это соотношение в практически бескислородной геохимической обстановке оказывается весьма близким к вышеприведенным цифрам и составляет 1:3,3, т.е. с подземными водами выносится 23,2% железа. Остальная его часть связывается глинами или высаживается из раствора в виде гидроокислов железа и сидерита (в зависимости от значения Eh), с которыми подавляющая часть подземных вод находится в равновесии.

Средняя минерализация подземных вод палеогеновых отложений составляет 458мг/л (см. табл.1). Из этого количества солей только 54,7% или 250мг/л приходится на литогенную составляющую, которая характеризует долю солей, заимствованную из вмещающих горных пород. По соотношению выноса и накопления железа, нетрудно рассчитать, что при среднем его содержании в водах 4,4мг/л общая мобилизация составляет 18,9мг Fe. Следовательно, каждый литр воды растворяет 460мг исходной горной породы, в которой содержится 18,9мг железа и из которых 364мг растворенного вещества связывается в виде продуктов выветривания, включая 14,5мг Fe. Из сказанного нетрудно рассчитать, что растворяемая водой горная порода содержит 4,1% Fe, а формируемая – 4,0%. Отсюда следует несколько важных выводов:

1. Растворяемая порода и формируемые вторичные продукты содержат почти одинаковое количество железа. Тем не менее, имеющейся разницы достаточно, чтобы обеспечить высокое содержание железа в воде.
2. Главным источником железа подземных вод выступают алюмосиликатные минералы тяжелой фракции осадочных пород, среди которых доминируют роговые обманки, пироксены, биотит, эпидот и другие, инконгруэнтное растворение которых обеспечивает перевод всех химических элементов, включая железо, в водный раствор.
3. Большая часть (~80%) переведенных в

раствор химических элементов, включая железо, немедленно формирует вторичные минералы: монтмориллониты, гидрослюды, каолинит, сидерит, кальцит, гетит, гематит и прочие продукты выветривания.

4. Оставшиеся в растворе (~20%) химические элементы, включая железо, формируют химический состав воды. Этого количества концентрирующихся в растворе солей достаточно для того, чтобы содержания железа достигали порой 15-18,9мг/л.

5. Алюмосиликатные породы являются источником большей части катионов Na, Ca, Mg, K, Fe и других. Но в окислительных средах Fe малорастворимо, и оно все связывается вторичными минералами (гидроокисями железа, гематитом). В окислительно-восстановительной и восстановительной обстановке Fe более подвижно и может концентрироваться до значительных содержаний, а осаждаться в виде сидерита.

Аналогичным образом в составе вод формируются повышенные концентрации кремния, марганца, алюминия и некоторых других элементов, способных в данных гидрогеохимических условиях достичь концентраций, превышающих допустимые. Итак, в условиях района Томского водозабора система вода-порода способна к непрерывной физико-химической эволюции, когда из первичных минералов под действием постоянно изменяющегося раствора возможно стадийное образование вторичных продуктов, устойчивых в данной геохимической среде.

Техногенные источники вещества в составе вод района исследований. Вычисленные на основе многочисленных анализов природных вод района фоновые содержания элементов позволили нам выделить долю антропогенной составляющей. В составе атмосферных осадков района доля антропогенной составляющей может достигать 10-30% за счет сульфат-иона, нитратов и нитритов, в почвенных и поверхностных водах – до 15-20%, а в большинстве исследованных подземных вод она не превышала 3%. В целом, для природных вод района наибольшую потенциальную опасность представляют органические фосфаты, нитраты, аммонийные соединения, источниками которых являются населенные пункты и сельскохозяйственные предприятия, а также стойкие органические соединения, попадающие на территорию водозабора путем атмосферного переноса со стороны предприятий гг.Томска и Северска. Особенно опасными могут быть аварии предприятий химической и нефтехимической отраслей, учитывая возросшую интенсивность водообмена в пределах воронки депрессии. Также крайне актуален вопрос неукоснительного соблюдения зон санитарной охраны Томского водозабора.

Глава 8. Прогноз качества подземных вод Томского водозабора

Ряд вероятностно-статистических анализов, проведенных с помощью пакета программ Statistica5.0 (корреляционный, кластерный, регрессионный анализы и анализ временных серий), позволил нам в ходе интерпретации прийти к выводу, что ионно-солевые компоненты в течение эксплуатации месторождения в пределах разных водоносных комплексов и на разных участках месторождения имели неодинаковые тенденции. Так, для всех горизонтов эксплуатируемого комплекса палеогенового возраста (вне областей развития хлоридно-натриевых аномалий) было характерно только снижение концентраций хлора относительно первоначальных, в то время как остальные параметры и компоненты либо не имели тенденций в изменчивости содержаний, либо возросли. Устойчивым ростом в пределах всего комплекса отличался параметр окисляемости, характеризующий наличие растворенного органического вещества в воде. В пределах самых водообильных горизонтов новомихайловской и юрковской свит отмечался незначительный, но статистически значимый, рост компонентов карбонатной системы, кремния, иона аммония. В пределах геологического разреза Притомской зоны происходит интенсивный промыв, в результате чего воды всех комплексов имеют значительное сходство в составе и минерализации.

Для выявления более сложных составляющих (сезонных, годовых, наложенных) в поведении основных компонентов вод и построения прогноза был выполнен *анализ временных серий* на примере вод скважин, вскрывающих палеогеновый комплекс в районах развития

хлоридно-натриевых аномалий, а также – в пределах области максимального развития воронки депрессии. Сопоставление функций, подобранных для скважин с ненарушенным и нарушенным режимами позволило нам говорить о значимом влиянии искусственного фактора - водоотбора. Прогноз дает благоприятный вариант развития системы на ближайшее десятилетие при соблюдении соответствующих гидроэкологических императивов, снижении антропогенной нагрузки на «проблемных» участках водозабора, выявленных нами в ходе данного исследования, а также – при отсутствии аварийных вариантов развития системы.

Заключение

В работе выявлены основные факторы формирования состава подземных вод района Томского водозабора, их антропогенной или антропогенно-инициированной трансформации, сделаны выводы о качественном составе вод района, даны рекомендации по дальнейшей эксплуатации и исследованиям. На базе прогноза, выполненного на основе методов математической статистики, сделан вывод, что вмешательство человека в ход естественных гидрогеохимических процессов находится на начальной стадии, а сам Томский водозабор имеет хорошие перспективы.

Рекомендации к эксплуатации. Очевидно, что необходимо разработать систему мероприятий по снижению и предотвращению притока солоноватых вод к скважинам Томского водозабора. Сейчас для предотвращения притока некондиционных вод в северной части водозабора (район д.Козюлино) широко используется метод временного отключения эксплуатируемых скважин, поэтому на первом этапе можно порекомендовать изучить время притока солоноватых вод к фильтровой зоне конкретных эксплуатационных скважин после пуска их в эксплуатацию. Затем, по мере трансформации их состава, необходимо переключаться на резервные скважины, расположенные в безопасных зонах водозабора для того, чтобы состав вод скважины восстановился в результате естественных гидродинамических процессов. В случае если хлоридно-натриевая аномалия будет продолжать наступать в южном направлении, придется перейти к более активным водоохранным мероприятиям. Наиболее простым методом здесь может являться уменьшение водоотбора из скважин с возросшей минерализацией воды (Бабушкин и др., 2003), раздельная добыча (дренаж солоноватых и параллельная эксплуатация пресных вод), а также использование некондиционных для хозяйственно-питьевого назначения вод в виде лечебно-столовых (Н.А.Ермашова, 2003) или технических, для обеспечения нужд населения, проживающего на севере Обь-Томского междуречья и нужд водозабора. Такая раздельная эксплуатация приведет к постепенному формированию подвижного подземного водораздела, который будет пространственно углублен в область распространения пресных вод. Эти меры позволят предотвратить распространение аномалий солоноватых вод и продлить время службы имеющихся эксплуатационных скважин водозабора с минимальными затратами.

Первоочередной задачей для дальнейших исследований являются, на наш взгляд, выявление источника повышенных концентраций хлора и натрия в пределах аномалий, развитых во всех водоносных комплексах Томского месторождения и поиск способов их безопасной локализации, а также – изучение происхождения микрокомпонентов, содержания которых в водах района приближаются или превышают предельно допустимые (Mn, Li, Hg, Al), а также – сложных органических микропримесей. Особо следует подчеркнуть предпочтительность комплексного применения гидродинамических методов и методов физико-химической термодинамики для понимания гидрогеохимических процессов, происходящих в недрах эксплуатируемого месторождения. Успешный опыт 30-летней эксплуатации Томского водозабора показывает, что установление равновесия в системе «потребности человека – возможности самовосстановления природных систем» возможно на практике.

Список основных работ по теме диссертации

1. Эколого-геохимическая оценка состояния подземных вод Томского водозабора // Тезисы докладов первого Международного научного симпозиума «Молодежь и наука – третье тысячелетие», ТПУ, Томск, 1997, стр. 109-110
2. Изучение термодинамического равновесия подземных вод Томского месторождения с некоторыми карбонатами и силикатами // Материалы Международной конференции им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» Часть 1. Томск, ТПУ, 1998, стр. 122
3. Химический состав подземных вод Томского водозабора // Обской вестник, 1999, №3-4, сс.69-77 (совместно с В.А.Зуевым, С.Л. Шварцевым)
4. Monitoring of underground water chemical composition of the Tomsk potable water supply // Proc. Of XXIX Congress of Int. Ass. of Hydrogeologists. Bratislava, Sept.1999, pp.509-514 (совместно с С.Л. Шварцевым, Н.М. Шварцевой и Н.А. Ермашовой)
5. Evidence of groundwater pollution within the Tomsk ground water intake region (West Siberia) // Proc. of International Symp. On "Hydrogeology and Environment", Wuhan, 2000, P.R. China, pp.106-111 (совместно с Н.М. Шварцевой)
6. О некоторых проблемах формирования гидродинамического и гидрогеохимического режимов Томского водозабора // Материалы Международной научной конференции «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов», Томск, 2000, сс.473-477 (совместно с В.А. Льготиным, Ю.В. Макушиным, С.Л. Шварцевым)
7. Возможности применения термодинамических методов для исследования подземных вод Томского месторождения // Материалы региональной научно-практической конференции «Проблемы региональной экологии» Выпуск 6., Томск, 2000, стр.72-73
8. Источники кремния в воде Томского водозабора // Материалы международной конференции, III Международный симпозиум «Контроль и реабилитация окружающей среды» ИОМ, Томск, 2002, с.54-55
9. Связь гидродинамических и геохимических параметров на примере длительно эксплуатируемого Томского месторождения подземных вод // Материалы годичной сессии Научного Совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии «Сергеевские чтения» Москва 2003, Выпуск 5, с.318-323
10. Химический и литолого-минералогический состав пород осадочного чехла района Томского месторождения подземных вод // Вестник ТГУ, №3(III) приложение, с.67-70
11. Водный режим реки Порос как индикатор природных процессов в Обь-Томском междуречье // Вестник ТГУ, №3(IV) приложение, с.151-152 (совместно с О.Г.Савичевым, С.Ю.Краснощековой, О.С.Шварцевой)
12. Трансформация состава подземных вод интенсивно эксплуатируемого Томского месторождения (Западная Сибирь) // Материалы конференции «Техногенная трансформация геологической среды», Екатеринбург, 2002, УГГГА, с. 54-56
13. Формы миграции элементов в подземных водах Томского месторождения // В монографии «Эколого-биогеохимические исследования в бассейне Оби», 2002, с.117-129
14. Этапы формирования состава подземных вод района Томского водозабора // Материалы научной конференции «Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири», ТПУ, 2003, с.75-77
15. Sources of iron in underground waters of Tomsk water supply (Russia, West Siberia) // Proc. of Internat. Symp. on "Hydrogeology and Environment", P.R. China Wuhan, 2003, pp.353-357 (совместно с С.Л. Шварцевым)