

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт земной коры
Сибирского отделения Российской академии наук

На правах рукописи



Шолохов Павел Анатольевич

**ТЕХНОГЕНЕЗ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЫ
В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДА ИРКУТСКА**

Специальность 1.6.6. Гидрогеология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель
д.г.-м.н. С.В. Алексеев

Иркутск - 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	9
1.1. Существующее представление о техногенезе подземных вод	9
1.2. Гидрогеологическая изученность Иркутской территории	11
1.3. Используемые методы исследований	18
ГЛАВА 2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД	20
2.1. Физико-географические условия	20
2.2. Гидрологические условия	30
2.3. Геологическое строение зоны аэрации и насыщения	34
2.4. Тектонические особенности территории	43
ГЛАВА 3. РАСПРОСТРАНЕНИЕ И УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД	48
3.1. Стратификация водоносных горизонтов и комплексов	48
3.2. Общая характеристика гидрогеологических подразделений	53
3.3. Гидродинамическая зональность подземных вод	74
3.4. Пространственно-временная изменчивость основных параметров водоносных подразделений с учетом техногенной компоненты	80
ГЛАВА 4. КАЧЕСТВЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД	94
4.1. Естественная минерализация, химический состав и пространственная зональность подземных вод	94
4.2. Актуальные и потенциальные техногенные источники загрязнения подземных вод	119
4.3. Химическая зональность подземных вод как результат техногенного воздействия и уровень трансформации естественного фона	140
4.4. Пространственно-временной прогноз изменения химического состава подземных вод	149
ГЛАВА 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ВОДОСНАБЖЕНИЯ	163
5.1. Состояние и перспективы использования подземных вод	163
5.2. Особенности природных условий при организации автономного централизованного водоснабжения за счет подземных вод	167
5.3. Источники резервного водоснабжения города Иркутска (Ушаковское и Иркутское месторождения пресных подземных вод)	174
5.4. Организация источников водоснабжения и аспекты охраны подземных вод	190
5.5. Геоинформационное обеспечение пользования подземными водными объектами ...	197
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	204
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	207

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Иркутск – главный экономический центр района и области с населением около 600 тыс. чел., расположенный на левом и правом берегам р. Ангары, включая приустьевые части долин рек Иркут и Ушаковки. Здесь городская агломерация аккумулирует в себе за длительный период развития обширные жилой, промышленный и сельскохозяйственный комплексы. За последние десятилетия население все активнее осваивает свободную, а также освободившуюся из-под производственных площадок и ранее охраняемых земель территорию, включая и подземные воды. Отсутствие контроля над этим процессом и невнимание, прежде всего, государственных органов оставляет критичные вопросы происходящих техногенных преобразований при использовании подземных вод без должного освещения.

Последнее по времени системное исследование проблемы было завершено в 1964 г. Этим был подведен итог изучению подземных вод, осуществленный в процессе гидрогеологической съемки “Большого Иркутска” в масштабе 1:50000. За прошедшие годы площадь, занимаемая городом и пригородами, существенно увеличилась, особенно за последние 25-30 лет. Из хорошо дренируемых площадей строительство постепенно переместилось на широкие поймы рек Ангары, Иркут, Ушаковки, Каи с очень высоким положением уровня грунтовых вод. В связи с этим получили широкое распространение свайные поля, деформирующие гидрогеодинамическое поле. Под зданиями сформировались сезонно-талые участки, уровень воды в которых располагается выше земной поверхности. Одновременно происходило общее повышение уровня грунтовых вод, что привело к увеличению площади пойменных “озер”. Подтопление сопровождалось коренным изменением качественного состояния подземных вод. К 2014 г. в городской черте оказались три золоотвала ТЭЦ, четыре полигона твердых бытовых отходов, все очистные сооружения, отстойники шламохранилища промышленных предприятий. В пригородной зоне коттеджной застройки в массовом порядке сооружено множество фильтрующих выгребов. Особую опасность этот вид водоотведения представляет для двух месторождений пресных подземных вод – единственных альтернативных и резервных источников централизованного водоснабжения города Иркутска. Непосредственная опасность угрожает участкам техногенного месторождения, сформированного в зоне подпора водохранилища Иркутской ГЭС.

Все изменения, произошедшие за истекшие полвека, зафиксированы почти исключительно эпизодично и на узколокальных участках по бессистемно расположенным малочисленным водопунктам. Достаточно сказать, что на рассматриваемой территории сеть государственного мониторинга состоит всего из десятка скважин, вскрывших воду в отложениях преимущественно низкого комплекса террас. Поэтому не удивительно, что до настоящего времени отсутствовало картографическое

отображение гидрогеодинамического и гидрогеохимического процессов, так необходимых для успешной реализации генерального плана города. Знание особенностей гидрогеологических условий, изучение влияния антропогенной деятельности на состояние геологической среды, определение негативных последствий неоправданного хозяйственного использования территории позволит прогнозировать состояние подземной экосистемы Иркутска в процессе дальнейшего освоения. Актуальные сведения о состоянии водных объектов позволят создать основу для принятия решений по поддержанию ресурсов и качества подземных вод на приемлемом уровне.

Научная новизна

В диссертационном исследовании собран и обобщен обширный фактический материал, проведен детальный анализ природных и техногенных процессов, впервые дана оценка современного состояния подземной гидросферы в пределах города Иркутска и его окрестностей. Автором оценены естественные природные условия по территории и определены факторы формирования подземных вод, гидродинамические и геометрические параметры, водообильность распространенных гидрогеологических подразделений, установлена гидравлическая связь между водоносными горизонтами и поверхностными водами, оценена пространственно-временная изменчивость основных параметров водоносных горизонтов с учетом техногенной компоненты. Выявлены актуальные и потенциальные техногенные источники загрязнения, показаны их типы, размещение, интенсивность и степень влияния, а также эмиссионная динамика; зафиксирована пространственная химическая зональность подземных вод, определены фоновые показатели качественного состава природных неизмененных вод. Дан пространственно-временной прогноз изменения химического состава подземных вод в условиях техногенного воздействия. Уточнены ресурсы подземных вод в отношении автономного, централизованного и резервного водоснабжения города, оценена перспектива использования подземных вод двух ранее разведанных месторождений – Ушаковского и Иркутского. Разработаны проектные решения в отношении схемы эксплуатации этих месторождений, позволяющие вести длительный водоотбор с необходимым качеством добываемых ресурсов. Дана детальная картографическая оценка гидрогеологическим, гидрогеохимическим и гидрогеодинамическим условиям исследуемой территории в масштабе 1:25000.

Объект исследования

Объектом диссертационного исследования являются подземные воды в границах Иркутской агломерации. Исследуются условия формирования вод, распространения, качественные и количественные характеристики, оценивается изменение характеристик под воздействием техногенной нагрузки, рассматриваются источники водоснабжения.

Цели и задачи

Диссертационная работа направлена на решение проблемы гидрогеодинамической и гидрогеохимической трансформации гидрогеологических условий подземных вод промышленно-урбанизированных территорий. Конкретной фундаментальной задачей в рамках данной научной проблемы является оценка преобразования гидрогеологической обстановки в г. Иркутске и его пригородах за истекшие более чем полвека времени и прогноз последующих изменений по территории. Для этого предлагалось решить следующие задачи: 1) опробовать густую сеть естественных и искусственных водопунктов, проанализировать обширную архивную фактуру, собрать неучтенный массив информации геологических организаций и частных предпринимателей; 2) выявить условия распространения и залегания подземных вод на рассматриваемой территории города и окрестностей; 3) отследить протекающие гидрогеологические процессы и изменение обстановки в качественном отношении, выявить общую картину процессов в пространственно-временных координатах; 4) разработать обоснованные рекомендации по защите и сохранению ресурсов пресных подземных вод, оказавшихся в черте города.

Фактический материал

В основу работы положен фактический материал, полученный в ходе полевых работ за период 2006-2018 гг., а также использован предоставленный материал из различных архивных и фондовых источников (АО “Иркутскгеофизика”, ЗАО “ВостСибТИСИЗ”, ТФГИ по Иркутской области, ООО “Ингео”, ООО “Иркутскстройизыскания” и других профильных организаций). Собранная информация для дальнейшей работы была систематизирована, обработана и оформлена в виде базы гидрогеологических данных.

Методы исследования

В настоящей работе использовались традиционные методы гидрогеологических исследований - прорабатывался обширный и фондовый материал по району работ, проводились полевые и лабораторные работы, фактический материал собирался в одну информационную базу с применением в процессе для обработки и интерпретации данных различного программного обеспечения (более 2000 точек). Полевые исследования проводились на искусственных и естественных водопунктах с выполнением комплексного гидрогеологического обследования и опробования. Применялись портативные анализаторы с селективными электродами, кондуктометрические датчики на кабеле, пробоотборники различного типа, электротермометры, электроуровнемеры и другое оборудование. Аналитические исследования подземных вод с определением компонентов состава и их количественная оценка осуществлялись в лабораторных условиях Байкальского аналитического ЦКП “Геодинамика и геохронология”

ИНЦ СО РАН и ИЗК СО РАН. Макрокомпонентный состав вод определялся методами атомно-эмиссионной спектрометрии, фотоколориметрии, титриметрии, потенциометрии, пламенной фотометрии, турбидиметрии, беспламенной атомно-абсорбционной спектрометрии, инверсионной вольтамперометрии. Для определения микрокомпонентов состава вод и количественного содержания элементов применялся метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Защищаемые положения

1. Техногенное нарушение естественного режима подземных вод обусловило подъем их уровня и подтопление застроенных территорий г. Иркутска. Развитие этого процесса происходит в историческом центре города, устьевой части долины р. Ушаковки, жилком секторе II^{го} Иркутска с промзоной и в Новоленино. Подтопление территории носит устойчивый характер (уровни воды фиксируются на отметках в 0,8-2,0 м), при этом процессу подвержено до 45-55% застроенной территории.

2. Наибольшему техногенному воздействию в пределах хозяйственно освоенной городской территории и прилегающих районов подверглись подземные воды аллювиальных отложений поймы и надпойменных террас. В местах наибольшего прессинга произошел рост минерализации и повышение концентраций хлоридов, сульфатов, элементов азотной группы, фосфатов, марганца, железа, стронция. Оцененная степень изменения качества позволяет отнести данные подземные воды к загрязненным.

3. Подземные воды в границах городской агломерации перспективны для организации питьевого и технического водоснабжения в больших объемах. Разведанные ранее Ушаковское и Иркутское месторождения подземных вод по известным участкам нуждаются в полной или частичной инженерной реабилитации по предложенным техническим решениям.

Практическая ценность и область применения результатов

Во-первых, исследованием были исключены дорогостоящие виды работ, используемые обычно при гидрогеологических изысканиях: бурение, опытные откачки, ГИС. При существующей плотности водопунктов достаточным оказалась система тестирования, изложенная при описании методов исследований. Во-вторых, использована возможность детально оценить степень метаморфизации подземных вод в верхней части гидрогеологического разреза и определить влияние основных факторов; оценить направленность и скорость изменения обстановки в прошлом и на ближайшую и среднесрочную перспективу. В-третьих, впервые стала возможной разработка обоснованных рекомендаций по инженерной защите территории от подтопления и сохранению участков подземных вод бывших ранее в статусе месторождений и оказавшихся в настоящий момент в черте города. В такой постановке и такими методами предлагаемые решения фундаментальной задачи представляются не лишенными оригинальности. Кроме того, построенная карта глубины залегания уровня подземных вод

особенно необходима для современного варианта схемы микросейсмического районирования г. Иркутска в связи с последней редакцией генплана города. В целом же подготовленные картографические и диссертационные материалы могут быть использованы при планировании и разработке водозаборных сооружений для населения и предприятий, проектных работах и строительстве различных хозяйственных объектов, при развитии схем экологического мониторинга местных предприятий, а также при принятии решений, затрагивающих геологическую среду, администрацией города.

Апробация результатов

Основные результаты исследований, положения и отдельные разделы диссертационной работы были представлены и обсуждались на следующих международных и всероссийских семинарах и конференциях: XVII научная конференция молодых географов Сибири и Дальнего Востока «Природа и общество: взгляд из прошлого в будущее» (ИГФ СО РАН, 2011 г., г. Иркутск), Научная конференция «Комплексные проблемы гидрогеологии» (СПбГУ, 2011 г., г. Санкт-Петербург), Всероссийской научная конференция с международным участием «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии» (ИВЭП СО РАН, 2012 г., г. Барнаул), Всероссийское совещание по подземным водам Востока России «Подземная гидросфера» (ИЗК СО РАН, 2012 г., г. Иркутск), The 6th International Siberian Early Career Geoscientists Conference (IGM & IPPG SB RAS, 2012, г. Новосибирск), Всероссийская молодежная научная конференция с участием иностранных ученых «Трофимуковские чтения 2013» (ИНГГ СО РАН, 2013 г., г. Новосибирск), IV Всероссийская научно-практическая конференция «Геодинамика и минерагения Северо-Восточной Азии» (ГИН СО РАН, 2013 г., г. Улан-Удэ), Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Науки о земле. Современное состояние» (НГУ, 2014 г., г. Новосибирск), Всероссийское совещание по подземным водам Востока России «XXI Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока» (ИМЗ СО РАН, 2015 г., г. Якутск), Всероссийская молодежная научная конференция с участием иностранных ученых «Трофимуковские чтения 2015» (ИНГГ СО РАН, 2015 г., г. Новосибирск), The 8th International Siberian Early Career Geoscientists Conference (IGM SB RAS, IPPG SB RAS, NSU, 2016, Novosibirsk), XXVII Всероссийская молодежная конференция «Строение литосферы и геодинамика» (ИЗК СО РАН, 2017 г., г. Иркутск), Всероссийское совещание по подземным водам Востока России «XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока» (ИНГГ СО РАН, 2018 г., г. Новосибирск).

Структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы. Объем работы составляет 216 страниц, включая 67 рисунков, 45 таблиц и список литературы из 162 наименований.

Публикации

По теме диссертации опубликована 21 работа, в том числе 5 статей в рецензируемых научных журналах из рекомендованного списка ВАК Минобрнауки РФ.

Благодарности

За помощь в проведении исследований и подготовке диссертационной работы автор выражает признательность научному руководителю, д.г.-м.н. Алексееву С.В. Отдельно автор искренне благодарит к.г.-м.н. Шенькмана Б.М. за полученный ценный опыт, оказанную помощь и наставления на профессиональный курс. За ценные советы и объективную критику по диссертационной работе автор благодарит к.г.-м.н. Павлова С.Х., признателен сотрудникам лаборатории гидрогеологии ИЗК СО РАН Шенькман И.Б., Черных Л.А., Дурбан Л.А. и к.г.-м.н. Кустову Ю.И.

Огромную благодарность автор выражает своей семье за моральную поддержку на протяжении всех лет работы над диссертационным исследованием.

Настоящее исследование проводилось в рамках проекта № 075-15-2020-787 “Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории”.

ГЛАВА 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Существующее представление о техногенезе подземных вод

Изучение подземных вод как научное направление интересует огромное специалистов, привлекает внимание исследователей смежных отраслей, сопровождается нескончаемым потоком публикуемой информации в научных журналах, производственных отчетах, медийной и интернет сферах. Актуальность и постоянное сопровождение вниманием наука гидрогеология имеет в силу специфики объекта своих исследований, подземных вод. В этой массе поступающей информации особое внимание уделяется проблеме чистой воды территорий, наличие которой для жизнедеятельности населения и работы производственных отраслей переоценить невозможно. Важный ресурс подземных вод расходуется по-потребительски и истощается повсеместно, подвергается загрязнению и становится непригодным к использованию. Негативное воздействие в большей части оказывает сам человек и созданные им объекты, вследствие чего подземные источники приходят в негодность частично или полностью. Самыми яркими примерами этого являются большие города с обширными пригородами, имеющие продолжительную историю своего воздействия на подземную гидросферу. Именно в силу вышеизложенного Иркутская городская агломерация была выбрана объектом настоящего исследования.

В общем рассмотрении подход к изучению проблем взаимодействия человека и подземной гидросферы имеет название экогидрогеологии, и является лишь частью науки об изучении подземных вод - гидрогеологии. Данное направление науки развивали отечественные ученые Белицкий А.С., Бочеввер Ф.М., Гавич И.К., Гаев А.Я., Клубов С.В., Крайнов С.Р., Минкин Е.Л., Мироненко В.А., Орадовская А.Е., Пиннекер Е.В., Плотников Н.И., Писарский Б.И., Посохов Е.В., Роговская Н.В., Сычев К.И., Тютюнова Ф.И., Шварцев С.Л., Швеи В.М., Шестаков В.М., Язвин Л.С. [12,14,17,36,43,45,49,50,51,57,59,61,65,73,80, 84,98] и многие другие. Зарубежные исследователи рассматривают эту проблему повсеместно и развивают направление “Environmental geology”, которое можно прямо сопоставить с экологической гидрогеологией. Общие проблемы экологической гидрогеологии и техногенеза рассматриваются в работах Bowen R., Custudio E., Domenico P.A., Drangert J.-O., Foth J., Foster S.S., Fried J., Glynn P.D., Hibbs B.J., Hirata R., Howard K.W., Jordan H., Matthess G.Y., Mur D., Kasten J., Leduc C., Lundqvist J., Todd D.K., Winter C.L. [103,106-109,112,113,115,116,118,119]. Накопленный опыт авторы передают также студентам в ведущих вузах страны и за рубежом, обучающихся по специальностям геологического профиля, охраны окружающей среды и водных ресурсов.

Из общего направления экологической гидрогеологии отдельным термином “техногенез” выделяется воздействие человека на гидрогеологическую среду, имеющее в большей степени негативный смысл протекающих процессов. Сам техногенез как термин был предложен А.Е. Ферсманом [Ферсман, 1934] и означал влияние человеческой деятельности при хозяйствовании, изменении ландшафтов, загрязнении подземных вод, рек и т.д., став обобщающим

понятием для любого воздействия человека на природу. По степени сложности изменения окружающей среды было принято выделять при рассмотрении процессов три стадии техногенеза - начальную, зрелости и коренного изменения или устойчивой формы [Плотников, 1989]. Начальная стадия предполагает незначительные изменения при проявлении техногенных процессов, допускает создание защиты природной среды от их воздействия. Стадия зрелости проявляется существенным изменением геологической среды в результате негативных техногенных процессов, а защита сводится к нейтрализации уже имеющихся последствий с целью недопущения критического состояния. В стадии устойчивой формы геологическая среда испытывает коренное преобразование с изменением ее состояния и состава. Защиты в последней стадии уже не существует, и требуется прекращение уже самого техногенного воздействия.

В зависимости от объекта изучения и характера воздействия обособляются типы техногенеза различного формирования [Пиннекер, 1979]. Выделяют техногенез горнодобывающего, водозаборного, мелиоративного, градопромышленного, сельскохозяйственного, гидротехнического типов. Могут быть и комбинированные виды техногенного воздействия, что на примерах в настоящей работе продемонстрировано в виде комбинации градопромышленного, сельскохозяйственного и гидротехнического типов. Само воздействие человека на недра зависит от характера и типа источника техногенного воздействия, состава и свойств геологической среды, а также масштабов воздействия. Во многом влияют также природная обстановка, ее уязвимость и сопротивляемость воздействию. Изменения геологической среды в зависимости от перечисленных факторов могут быть качественными и количественными, локальными и региональными, временными и постоянными, приповерхностными и глубинными [Тютюнова, 1987].

Техногенное воздействие на гидрогеологическую среду в большей степени вызвано изъятием вещества - твердого, жидкого и газообразного, а также привносом вещества в виде водных растворов, твердых и реже газообразных отходов [Трофимов, 1995]. Сочетание всех видов воздействия прежде всего испытывает именно гидрогеологическая обстановка: в значительной мере изменяются гидрогеохимические параметры среды, происходит качественное истощение подземных вод. Привнос вещества приводит к подтоплению территории, и следствием происходит смена гидрогеодинамической обстановки. Потери воды при эксплуатации водонесущих систем сопровождающаяся одновременно изменением химического состава подземных вод и их количественной составляющей.

Обозначенные под общим определением техногенеза процессы взаимодействия геологической среды и человека в контексте изучения подземных вод продолжают быть на пике актуальности. Научной стороне этих вопросов необходимо уделить достойное внимание, поскольку обозначенная проблема в последнее время приобретает все большую остроту. В сфере взаимодействия из точечного масштаб техногенеза увеличивается в локальный и далее растет интенсивно в региональный, становясь порой необратимым. Процесс распространяется на глубины в несколько сотен метров, в итоге сменяя природный есте-

ственный режим в нарушенный уже и на глубине. Проследить все вышеизложенное в деталях локального воздействия представилось возможным на крупном техногенном объекте – городе Иркутске с официальным населением более 600 тыс. человек, имеющим долгую историю развития городской инфраструктуры, дорожных сетей, производственных площадок, крупных промышленных объектов, имеющий возведенную гидроэлектростанцию с плотиной и большим водохранилищем. Несомненно такие источники антропогенного воздействия в своем многообразии оказывают существенное влияние на гидрогеологическую среду, полностью соответствуя протекающими процессами определению термина техногенеза, вынесенного в заглавную тему данного диссертационного исследования.

1.2. Гидрогеологическая изученность Иркутской территории

По сравнению с другими промышленными районами Иркутской области, подземная гидросфера г. Иркутска изучена сравнительно хорошо. Большое количество сведений о подземных водах изучаемой территории приведены в многочисленных отчетах, научных исследованиях и специализированных статьях. Однако имеющиеся материалы различны по полноте данных, структуре приведенных сведений и достоверности данных оценок. Для наиболее полного, и вместе с тем краткого изложения результатов предыдущих работ уместнее отойти от хронологического порядка изложения, приняв за основу характер и назначение проведенных работ.

Началом изучения гидрогеологии г. Иркутска и прилегающих к нему районов можно считать 20^е годы XX века, в первые годы Советской власти, - с созданием гидрогеологической службы. Именно в те годы были заложены основные гидрогеологических исследований – изучение гидрогеологических условий месторождений полезных ископаемых, гидрогеологическое картирование, изучение минеральных вод и гидрогеологические исследования для целей водоснабжения.

Первые количественные данные о подземных водах территории относятся к 1922 г., когда А.В. Арсентьев опубликовал результаты работ по бурению трех поисковых на уголь скважин, одна из которых была пройдена в предместье Рабочем. При глубине скважин 85-132 м на пойме долины р. Ушаковки были вскрыты напорные самоизливающиеся содовые воды. Водоносный горизонт, вскрытый на глубине 70 м, обладал высокой обводненностью. Прошло одиннадцать лет, и в 1933 г. А.И. Ефимов произвел гидрогеологическую съемку участка будущего строительства Иркутской ГЭС, составив карту водопунктов.

Начиная с 1933 г. в окрестностях города Иркутска развернулось промышленное строительство. Вопросами водоснабжения и канализации вновь строящихся объектов занимались гидрогеологи Восточно-Сибирского геологического треста А.В. Ближенский, Н.В. Долженко, А.И. Ефимов, О. Шелевицкий, И.А. Лившиц, Г.Г. Салопов, М.М. Германюк, И.И. Кравцов, Н.В. Стефанский и М.И. Тешлер. В результате этих работ была изучена на отдельных участках обвод-

ненность аллювиальных водоносных горизонтов долины р. Ангары и среднеюрского постоянного грунтового водоносного горизонта.

Всего за период 1933-1940 гг. было сооружено полтора десятка скважин, эксплуатирующих этот горизонт. В это же время И.А. Лившиц (1935 г.) делает попытку расчленения гидрогеологического разреза юрских отложений. Опираясь на неглубокие эксплуатационные скважины, он выделил в стометровой толще два водоносных горизонта и дал количественную характеристику их обводненности.

Первое систематическое обобщение по подземным водам окрестностей г. Иркутска в тридцатых годах сделал Н.И. Титов (1936 г.). Им была проведена гидрогеологическая съемка, которая заключалась в обследовании источников, дренирующих юрский водоносный горизонт, залегающий выше эрозионного вреза основных долин, и грунтовые водоносные горизонты в аллювиальных отложениях долины р. Ангары. Было обследовано также небольшое количество колодцев. Съемка не сопровождалась картировочным бурением. По данным съемки и обобщения скудного в то время фондового материала была составлена некондиционная, в современном понимании, гидрогеологическая карта масштаба 1:50000 со значительной нагрузкой. По основному содержанию – это карта водопунктов – источников, сгруппированных по величине дебита. Были также проведены стратиграфические границы между юрскими и четвертичными отложениями.

Н.И. Титов отметил в породах юры выдержанные на нескольких площадях водоносные горизонты, а также по характеру напора подземные воды подразделил на грунтовые, дренированные р. Ангарой, и напорные – не дренированные последней. В пределах аллювиальных четвертичных отложений им были выделены водоносные горизонты поймы, первой и второй надпойменных террас, как наиболее обводненные. Поскольку съемка была произведена в короткий срок и в период, когда источники имеют максимальный дебит, то был сделан вывод о больших запасах подземных вод в юрских отложениях. Н.И. Титову присваивают первенство о постановке в то время вопроса об оценке запасов подземных вод и первенство в попытке его решения.

В 1941 г. по результатам инженерно-геологических исследований приангарской полосы от г. Иркутска до г. Черемхово И.А. Савари составил схематическую гидрогеологическую карту масштаба 1:100000. Водоносность юрских отложений изучалась по естественным выходам подземных вод. Основное внимание было уделено аллювиальным водоносным горизонтам.

Великая Отечественная Война на целых шесть лет приостановила изучение подземных вод. В послевоенные годы гидрогеологические исследования развивались главным образом в пяти направлениях: 1. при бурении опорных, структурных, поисковых и разведочных на уголь, нефть и газ скважин; 2. при проведении систематических гидрогеологических работ – гидрогеологические съемки; 3. при сооружении эксплуатационных на воду скважин; 4. при изысканиях и строительстве гидроэнергетических сооружений (Иркутская и Суховская ГЭС); 5. при сооружении разведочно-эксплуатационных на минеральные воды скважин. Важное значение в обобщении полученных материалов сыграл

составленный в 1946 г. кадастр подземных вод. С 1947 г. он регулярно пополнялся новыми данными.

После Великой Отечественной Войны началось интенсивное изучение геологического строения юго-восточной части Иркутского амфитеатра, которое сопровождалось большим объемом буровых работ. Бурились в основном опорные и структурные скважины.

Ю.П. Деев и И.А. Левшиц (1949 г.), проводя бурение структурных скважин в поле развития юрских пород, собрали довольно много данных о химизме подземных вод юрских отложений. Ими впервые была отмечена приуроченность подземных вод к тем или иным стратиграфическим подразделениям юры и так называемым фациям (суховская, иданская и дабатская). Авторы отчета высказали мысль, что соленые воды в нижней части юрского обязаны своим происхождением потоку рассолов из кембрийских толщ. В результате проведенных работ было получено представление о гидрогеохимическом разрезе юрских отложений, как о последовательной смене с глубины пресных гидрокарбонатных вод солеными хлоридными натриевыми. В отчете отмечено также об обнаружении в районе с. Патроны внутри хлоридного натриевого типа абсолютно бессульфатных воды, которые, как и содовые воды, остались не замеченными.

В 1950-51 гг. трест “Востсибнефтегеология” на перспективных Щукинской, Большеразводнинской и Еловской площадях производит поиски природного газа, которые сопровождаются большим объемом буровых работ. Для гидрогеологической науки эти проведенные работы дали немного, но, как и в 1922 г., в 3 км восточнее предместья Рабочее на глубине 77 м вновь были вскрыты самоизливающиеся содовые воды низкой минерализации и с большим дебитом самоизлива. Таким образом, данные Г.И. Чернышевой (1951 г.) говорят о том, что в долине р. Ушаковки имеется выдержанный напорный водоносный горизонт высокой производительности.

В районе с. Баклаши, на глубине 205 м, также были вскрыты воды, насыщенные метаном. Сведения, приведенные К.Б. Осипянцем (1952 г.) указали на сравнительно широкое распространение указанных вод.

Примерно к этому времени относится изучение подземных вод глубоко залегающих кембрийских отложений. Трестом Востсибнефтегеология в районе сел Щукино и Большая Разводная были пробурены две скважины глубиной 750 и 2200 м. В отчетах К.И. Акимовой (1950 г., 1952 г.) приводятся сведения о составе, минерализации и водоносности подземных вод кембрия. Было выяснено, что начиная с глубины 700-800 м повсеместно залегают рассолы хлоридного натриевого состава, минерализация которых не превышает 60 г/л.

Очень большие гидрогеологические исследования проведены в связи с изысканиями и строительством Иркутской и Суховской ГЭС. Эти работы, переходя из одной стадии в другую, продолжались в течение 1947-1960 гг. Результаты исследований обобщены в отчетах В.А. Емельянова (1951 г.), Ф.Я. Никонорова (1960 г.), В.К. Крикщюнаса (1956 г., 1958 г.) и А.Г. Филюка (1959 г.).

По площади исследования были локализованы и ограничивались долиной реки Ангары, по степени детальности и достоверности соответствовали гидрогеологической съемке масштаба 1:5000. В результате проведенных работ подробно были изучены обводненность, химический состав и минерализация подземных вод отложений поймы, первой, второй и третьей надпойменных террас. Гранулометрический состав водовмещающих отложений четвертичных образований изучен не менее детально. Хотя преимущественно изучались водоносные горизонты аллювиальных отложений, значительные данные также имеются по обводненности и химизму грунтового и напорного водоносного горизонта юрских пород присаянской свиты на междуречье Ушаковка-Ангара и непосредственно в створе Иркутской ГЭС. Для междуречья получены важные сведения о фекально-бактериальном загрязнении грунтовых вод юрских отложений в черте территории города Иркутска, равно как и аллювиального водоносного горизонта. Впервые было выяснено, что вдоль долины р. Ангары в пределах изучаемой территории на небольшой глубине залегают солоноватые хлоридные натриевые воды.

Позже Ангарской экспедицией Мосгидэпа была организована режимная сеть для наблюдений за подземными водами. Режимные наблюдения должны были осветить изменения гидрогеологических условий в зоне подпора, обходной фильтрации и возможного подтопления города Иркутска. Позже вся режимная сеть была передана Иркутской гидрогеологической станции, которая продолжала наблюдения, расширяя сеть скважин за счет водоносных горизонтов в юрских и нижнекембрийских отложениях. Однако до 60^х годов за основными перспективными для водоснабжения водоносными горизонтами режимных наблюдений в районе г. Иркутска не велось. Аллювиальные водоносные горизонты долин рек Иркуты и Ушаковки до момента проведения в 1969 г. региональных работ почти не изучались.

Иркутским геологическим управлением в 1957 г. на территории Физioterпевтического института были пробурены две глубокие скважины (750 и 981 м), которые вскрыли хлоридные натриевые воды с минерализацией 48-60 г/л, содержанием сероводорода 18-20 мг/л и температурой 26-27°C. Близкие результаты были получены Цахновским М.А. и Обуховым В.Ф. (1958 г.) и при бурении скважин на территории городской больницы по улице 8^й Советской. На основании этих работ было сделано заключение, что на территории окрестностей г. Иркутска с определенной глубины могут быть выведены на поверхность минеральные воды, имеющие большое бальнеологическое значение. По результатам проведенных исследований П.И. Трофимуком (1961 г.) выделено в разрезе юрских отложений пять водоносных горизонтов (комплексов); такое же количество горизонтов выделено во вскрытой мощности нижнекембрийских отложений.

Наибольший материал по химии и водоносности постоянного грунтового водоносного горизонта юрских отложений получен при сооружении эксплуатационных на воду скважин в послевоенное время. В основном сооружение началось после решений партии и правительства в 60^х г. и продолжалось длительный период времени до известных событий конца 90^х годов. Работы проводи-

лись Иркутским геологическим управлением, Ангарской экспедицией Мосгидэпа, Иркутским облводхозом, Востокбурводом, трестом Востсибнефтегеология. За исключением скважин, пробуренных геологическими организациями, качество работ и гидрогеологическая информация оценивались весьма низкой. Во время бурения не проводились элементарные гидрогеологические наблюдения. По большинству скважин, пробуренных Облводхозом и Востокбурводом, нет данных о глубине залегания водоносного горизонта, статических и динамических уровней и т.п. В 1964 г. группой Сироткина были переобработаны большинство существовавших на тот момент эксплуатационных скважин в Иркутской агломерации. Было выявлено, что скважины по многим причинам являются некондиционными. Тем не менее, несмотря на все погрешности, эти проведенные работы дали относительную характеристику обводненности основного эксплуатационного водоносного горизонта на изучаемой территории. Шесть скважин в предместье Марата, пробуренные трестом Востсибнефтегеология и Облводхозом впервые указали, какой большой обводненностью обладает постоянный грунтовый горизонт на правом берегу долины реки Ушаковки. На описываемый момент времени на пойме и правом берегу долины реки Ушаковки наметилось два высокообводненных горизонта пресных вод.

После проведения геологической съемки в 1959 г. масштаба 1:200000 наметилась реальная возможность произвести гидрогеологическую стратификацию юрских отложений Прииркутской впадины. Частично эту задачу разрешил Е.В. Пиннекер, когда в 1967 г. Институтом земной коры была проведена гидрогеологическая съемка Иркутского Присяянья – от озера Байкал до междуречья Белая – Китой и составлены гидрогеологические карты масштаба 1:200000 и 1:500000. Результаты этих исследований обобщены в работе Е.В. Пиннекера (1958 г.) “Подземные воды Иркутско-Черемховского промышленного района”.

Начиная с 1955 г. через каждые три года проводятся совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. На этих совещаниях подводились итоги проведенных работ и намечались основные задачи дальнейших исследований. Первые проведенные совещания были полны докладов, затрагивавших территориально тему гидрогеологических исследований г. Иркутска и его окрестностей. В 1958 г. на совещании был сделан доклад группы авторов (И.С. Ломоносов и др.) о подземных водах иркутского артезианского бассейна. В этом докладе было впервые дано гидрогеологическое районирование Иркутского артезианского бассейна на основе тектонического строения и возраста водовмещающих пород. Районирование было произведено для части разреза, где подземные воды пригодны питьевого и хозяйственного водоснабжения. Для Иркутска основной результат районирования заключался в выделении Прииркутской впадины как артезианского бассейна третьего порядка. Последнее обстоятельство имело в дальнейшем важное значение в изучении подземных вод территории.

Основную роль в изучении подземных вод сыграли гидрогеологические съемки, поскольку исследования здесь носили систематический характер, обобщались все распыленные по многим отчетам сведения, а производители

работ имели специальную гидрогеологическую подготовку. Это также относится к гидрогеологической съемке, проведенной в 1958-1959 гг. В территорию, охваченную съемкой масштаба 1:200000 (лист №48-XXXIII), входила также восточная часть Прииркутской впадины. Как видно из ранее изложенного, в момент проведения гидрогеологической съемки имелись геологическая карта масштаба 1:200000 и гидрогеологическое районирование территории; сравнительно хорошо Е.В. Пиннекером был изучен гидрохимический разрез юрских отложений (1958 г.) для двух первых от поверхности водоносных горизонтов в юрских породах, содержащих пресные воды. По району г. Иркутска накопилась сравнительная характеристика водоносности.

На основе съемочных работ, изучения фондовых материалов и литературных источников в 1960 г. С.Л. Пугачем и Бондаренко Л.Н. была составлена гидрогеологическая карта масштаба 1:200000. Были выделены и характеризованы в разрезе юрских отложений водоносные горизонты и комплексы. В отчете по этим работам с полнотой изложена характеристика подземных вод, содержащихся в четвертичных, юрских и нижнекембрийских отложениях; приведены фильтрационные параметры водоносных комплексов и химический состав подземных вод. В пределах исследованной площади выделены были 3 участка, перспективных для водоснабжения, один из которых в районе д. Максимовское.

Дальнейшее изучение подземных вод территории происходило по частным вопросам в результате более детального рассмотрения фондового материала. К этому времени (1959-62 гг.) относится публикация ряда статей, в которых рассматриваются гидрогеологические условия в рамках административного и естественного деления территории Иркутского амфитеатра.

В 1959 г. В.Г. Ткачук и Е.В. Пиннекер опубликовали большую работу “Подземные воды Иркутской области и их народнохозяйственное значение”. Значительное внимание в ней было уделено артезианскому бассейну Прииркутской впадины. Авторы оценили мощность зоны пресных вод и в общем плане рассмотрели вопросы формирования гидрохимического разреза. В частности, впервые были выделены содовые воды в юрских отложениях. В 1961 г. на совещании по подземным водам Сибири и Дальнего Востока в г. Красноярске был зачитан доклад Е.В. Пиннекера “Подземные воды Прииркутской впадины” [58]. Приведенные в нем сведения были интересны тем, что подземные воды описаны в пределах выделенной гидрогеологической структуры.

Началом этапа количественной оценки пресных подземных вод можно считать работу П.И. Трофимука и И.Н. Угланова (1961 г.) по оценке эксплуатационных ресурсов подземных вод Иркутской области. В этой работе дана сравнительная характеристика участков по возможной производительности водозаборов. Прииркутская впадина отнесена авторами к участкам с возможной производительностью более 100 л/сек.

В соответствии с решением Совета Министров СССР в 1961-1963 гг. о генеральной схеме использования и охраны водных ресурсов СССР была составлена карта прогнозной оценки эксплуатационных запасов пресных подземных вод Иркутской области в масштабе 1:1500000 П.И. Трофимуком с соавторами. Для оценки эксплуатационных запасов подземных вод юга Иркутской

области автором использован был гидродинамический метод расчета, на основании которого сделано заключение о весьма благоприятных условиях перевода водоснабжения Иркутска, Ангарска и Шелехова на подземные воды четвертичных и юрских отложений.

Далее работы по изучению гидрогеологической обстановки были продолжены гидрогеологической съемкой масштаба 1:50000 листов №48-137-А и Б Сироткиным Л.А. с коллективом авторов (1964 г.). Был написан отчет, сопровождаемый гидрогеологической, инженерно-геологической и другими картами.

Монография “Гидрогеология СССР”, том XIX - Иркутская область, вышедшая позднее в 1968 г., являлась первой обобщающей работой с всесторонней характеристикой подземных вод территории [18]. В ней собраны и приведены результаты всех гидрогеологических исследований, которые имели место на момент ее составления.

Период с 1970 по 1976 гг. был отмечен большим объемом работ производственных организаций по Иркутскому району и области, которые затрагивали территорию г. Иркутска. По полученным результатам Иваниловой Р.Ф. с коллективом авторов в 1970 г. составлены гидрогеологическая карта Иркутской области по условиям водоснабжения рассредоточенного населения в так называемый “особый период”, а также в 1976 г. прогнозная геолого-экономическая карта пресных подземных вод Иркутской области в масштабе 1:500000.

Конец 1976 г. был ознаменован выходом монографии “Естественные ресурсы подземных вод юга Восточной Сибири” Пиннекера Е.В. с соавторами [55]. Авторы большое внимание уделили тщательному анализу методов оценки и картирования естественных ресурсов, степени гидрогеологической изученности, результатам стационарных и экспедиционных исследований. Особую ценность имеет высказанное представление об уровнях дренирования и их роли в локализации ресурсов пресных подземных вод.

В научном отчете Шенькмана Б.М. “Зона интенсивного водообмена Ангара-Ленского бассейна (ресурсы и геохимия подземных вод)” за 1983 г. по новому изложена схема формирования подземного стока. В отчете даны методические рекомендации поисково-разведочных работ на пресные подземные воды. Кроме теоретических выводов, значительную практическую ценность представляют сопровождающие отчет карты: водопроводимости, подземного стока и гидрохимической зоны интенсивного водообмена.

В 1991 г. коллективом под руководством Лумповым И.А. были подведены итоги за период 3^х летних работ по разведке месторождения пресных подземных вод на междуречье Ангара-Иркут-Китой. Проведенные гидрогеологические исследования охватили большую площадь, частями включая западную и северо-западную территорию Иркутской агломерации. Полученный фактический материал Ново-Ленинским отрядом и ИЗК СО РАН позволили выделить перспективные в целях водоснабжения участки, и, что более значимо, оценить условия формирования химического состава подземных вод, определить естественные ресурсы.

Отдельно отмечается выполненный объем инженерно-геологических работ, связанных с изысканиями под различные сооружения. Так, по имеющейся

информации, только с 2000^х гг. зафиксировано было более нескольких сотен пробуренных скважин в районах планировочной застройки г. Иркутска, большое число из которых вскрыли подземные воды различных горизонтов и могут считаться вполне кондиционными по полноте гидрогеологических сведений по ним. Изыскательские работы проводились по известным микрорайонам города – Новоленино, центральной части, Топкинский, Рабочее, Первомайский, Синюшина гора, Университетский, Юбилейный и других участков территории. Темпы застройки за истекший период времени можно оценить по генеральному плану города на момент написания диссертационного исследования, где практически отсутствуют свободные площади для строительства в городской черте. Вся полученная инженерно-геологическая информация за последние 30 лет имеет несомненный вес в гидрогеологическом рассмотрении, поскольку в отчетах содержится детальная характеристика грунтов и отложений верхней части геологического разреза, отметки вскрытых водоносных горизонтов и комплексов, уровни подземных вод, результаты химических анализов проб воды и многое другое.

В качестве итога по истории изучения подземных вод Иркутской агломерации необходимо отметить, что за рассмотренный временной период имеется в доступности обширный материал фактических исследований. Выше перечисленными работами характеризуются геологическое строение, гидрогеологические и инженерно-геологические условия рассматриваемой территории. Имеющаяся гидрогеологическая информация представляет возможность выполнить систематизацию и кондиционный анализ материала в рамках городской структуры более чем за последние 50 лет.

1.3. Используемые методы исследований

В основу диссертационного исследования легли материалы проведенных полевых работ, обширные материалы геолого-гидрогеологического формата специализированных организаций, данные фондовой литературы и опубликованных результатов исследований. В работе использовались традиционные методы гидрогеологических исследований – прорабатывался имеющийся материал по району работ, проводились полевые и лабораторные работы, фактический материал собирался в одну информационную базу.

При полевых работах опробовались искусственные водопункты, главным образом, эксплуатационные на воду скважины автономного пользования, количество которых превысило шести сотен. По этим скважинам фиксировались сведения о конструкции, геологическом разрезе, уровне воды, проводилось опробование и опытно-фильтрационные работы (ОФР). В процессе ОФР проводилась кондуктометрия, оксиметрия, осуществлялся замер pH и Eh, определялся диоксид углерода, HCO_3 , F, NO_2 , NO_3 , NH_4 . Водородный показатель и окислительно-восстановительный потенциал и четыре последних компонента химического состава тестировались с использованием селективных электродов и портативных анализаторов в момент опробования. В скважинах с открытым стволом дополнительно производился дискретный термо- и кондуктометриче-

ский каротаж. В случае резких изменений в контрастируемых интервалах сифонными пробоотборниками, заполненными азотом, отбирались пробы воды на полный химический анализ. Выборочно отбирались пробы воды на нефтепродукты, летучие фенолы и СПАВ.

Помимо скважин обследовались копанные и смотровые колодцы различного назначения; водопункты сети мониторинга федерального, регионального и локального (ведомственного) подчинения. В выработках, где имеются соответствующие условия, проводился резистивиметровый каротаж для определения мощности водоносного горизонта и коэффициента фильтрации. В скважинах, в которых были ОФР невозможны (малый диаметр), осуществлялся экспресс-налив методом вытесняющего объема с дальнейшей обработкой полученных результатов по решениям Bouwer H., Rice R.C. [104,105].

Кроме искусственных водопунктов периферическая часть территории города имеет естественные выходы подземных вод. Плотность естественных водопунктов по городской территории велика, чем обеспечила существенное дополнение в фактическом материале при выполнении картографирования в масштабе 1:25000.

В полевых работах использовались комплекты портативных анализаторов для определения pH, Eh, электропроводности, минерализации, растворенного кислорода; набор селективных электродов (F, NO₂, NO₃, NH₄), проточные кондуктометрические датчики на 50 метровом кабеле, набор пробоотборников различного типа, диаметров и объемов; дистанционные электротермометры, электроуровнемеры. Пробы воды, взятые на полный химический анализ при проведении полевых работ с опробованием водопунктов, исследовались в лабораторных условиях Байкальского аналитического центра коллективного пользования “Геодинамика и геохронология” ИНЦ СО РАН и ИЗК СО РАН. Макрокомпонентный состав проб воды определялся методами атомно-эмиссионной спектрометрии, фотоколориметрии, титриметрии, потенциометрии, пламенной фотометрии, турбидиметрии, беспламенной атомно-абсорбционной спектрометрии, инверсионной вольтамперометрии. Для определения микрокомпонентов состава вод и количественного содержания элементов применялся метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе ELEMENT-2 (Finnigan MAT).

Натурным исследованиям предшествовал сбор неучтенных геологическим фондом массива данных, сосредоточенных в архивах организаций и фирм, специализирующихся на инженерно-геологических изысканиях, а также была получена ценная информация от довольно большой группы частных предпринимателей, специализирующейся на бурении эксплуатационных скважин в целях водоснабжения.

ГЛАВА 2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

2.1. Физико-географические условия

Рельеф

В структурно-геоморфологическом отношении территория г. Иркутска относится к южной части Иркутского амфитеатра и находится в пределах Иркутско-Черемховской равнины. В целом для рассматриваемой территории характерен рельеф, состоящий из сочетания узких плосковерхих водоразделов, широких речных долин и многочисленных падей и распадков.

Современный рельеф территории в основном определяется характером гидрографической сети, которая представлена следующими наиболее крупными реками: р. Ангара, пересекающая территорию с юга-востока на северо-запад; р. Иркут и р. Ушаковка, имеющие широтное направление и впадающие друг против друга с левой и правой стороны в р. Ангару. Кроме этих наиболее крупных рек существует ряд небольших речек, впадающих в предыдущие. Плотность эрозионной сети по основным рекам отличается крайней неравномерностью.

Наибольшие высоты близ расположенных междуречий мало отличаются друг от друга. Преобладающие отметки высоты междуречий варьируют от 500 до 550 м. Местность расчленена глубоко врезаемыми в плоскогорье (на 100-150 м) долинами рек Ангары, Иркуты, Ушаковки и Каи. Основным элементом рельефа для рассматриваемой Иркутской территории является долина реки Ангары. Большая часть территории района занята склонами различной ориентации. Особенностью рельефа является связь его с трещинной тектоникой. В отчете Чиждова А.Д. с соавторами (1988 г.) приведены сведения о том, что ориентировка как мелких долин речек и ручьев, так и крупных рек - Ангары и Иркуты, предопределена тектонической трещиноватостью.

В пределах территории г. Иркутска преобладает эрозионно-аккумулятивный и эрозионно-денудационный тип рельефа местности. Для эрозионно-аккумулятивного типа характерны следующие формы: аккумулятивные (современные участки речных долин), эрозионно-аккумулятивные (террасированные склоны) и эрозионные (днища падей и мелких речек). К эрозионно-денудационному типу относятся водоразделы и нетеррасированные склоны. К аккумулятивным формам рельефа относятся поймы высотой до 4 м и I надпойменная терраса высотой 6-8 м.

Пойма отмечается в долинах рек Ангары, Иркуты, Ушаковки и Каи. Особенно обширная пойма на левобережье Иркуты и Ангары. На поверхности пойм, особенно на пойме р. Иркуты, встречаются многочисленные озерки, старицы сухие или с цепочкой озерков. Поверхности пойм из-за близкого стояния уровня подземных вод почти всюду заболочены. В общем рассмотрении поверхности пойм могут быть охарактеризованы как ровные с незначительным уклоном к руслу рек.

До строительства Иркутской ГЭС ангарская пойма затапливалась во время зажорных явлений при ледоставе Ангары. В настоящее время пойма затап-

ливается только ниже пос. Боково, т.е. там, где гидрологический режим остался прежним. Частое затопливание поймы р. Иркут может наблюдаться также во время летних паводков. Абсолютные отметки пойменной части рельефа колеблются в пределах 425-435 м.

Первая надпойменная терраса расположена на мысовом окончании рек Ангары и Ушаковки, в центральной части города. Граница между поймой и I надпойменной террасой выражена в рельефе слабо, но тыловой шов ее четко ограничен уступом III террасы. Поверхность террасы ровная и постепенно поднимается от бровки к тыловой закраине. Ширина террасы на этом участке 1500-1600 м. Первая надпойменная терраса шириной от 100 до 380 м прослеживается также по правому берегу р. Ангары вниз от устья р. Ушаковки до устья пади Топки на протяжении почти 3 км. Незначительными участками I терраса отмечается в долине рек Иркут и Каи. Небольшие фрагменты террасы встречаются в приустьевых частях речек Мегет и Вересовка.

К эрозионно-аккумулятивным формам рельефа относятся II, III, IV и V террасы и днища падей. Вторая надпойменная терраса высотой 10-13 м ограничено прослеживается по правому берегу р. Ангары от плотины ГЭС до бульвара Постышева. Ширина ее на этом участке 400-500 м. Поверхность террасы наклонена к пойме под углом до 5° , а местами и круче. В районе пос. Жилкино II терраса выражена в виде останца обтекания среди поймы. Вся центральная часть города Иркутска расположена на площади второй надпойменной террасы. Абсолютные отметки поверхности террасы колеблются в пределах 430-435 м.

Третья надпойменная терраса высотой 16-25 м расположена по обоим бортам долины р. Ангары, по левобережью рек Иркут, Ушаковки и Каи. Морфологически эта террасы лучше всего выражена в районе Новоленино, где ее отложения образуют характерный крутой уступ, вытягивающийся параллельно р. Ангары и р. Иркуту. Поверхность террасы наклонена под углом 5° к тальвегам рек, прикрытая мощным плащом делювиальных отложений. Отмечается, что вместе с поверхностью II и IV террас во многих местах образует единую полого наклонную к рекам поверхность склона делювиального накопления. III надпойменная терраса частично затронута эрозионными процессами. Размыты подверглись не только делювиальные отложения, но и часть аллювия. На многих участках на поверхности III террасы наблюдается бугристо-западный микрорельеф, эоловые бугры неопределенных очертаний. Абсолютные отметки террасы изменяются в пределах 440-455 м.

Четвертая надпойменная терраса высотой 26-33 м встречается в долине рек Ангары и Ушаковки. На правом берегу р. Ангары IV надпойменная терраса прослежена от ИСХИ до бульвара Постышева. Наиболее широкая терраса в верхнем бьефе Иркутской ГЭС (1,4-1,5 км, местами до 2,5 км).

На левом берегу Ангары отдельными небольшими обрывками IV терраса встречена в районе Иркутской ГЭС. Более распространенной она является на левобережье р. Ангары ниже слияния с р. Иркутом. IV надпойменная терраса, за исключением отдельных участков, погребена под мощным слоем делювиальных отложений. В районе Новоленино над аллювием IV террасы местами

залегает слой эоловых отложений мощностью от 1 до 3 м, представленный пылеватыми и мелкими песками, супесями, иногда суглинками. Уклоны поверхности террасы преимущественно от 1 до 5°, а в местах пересечения террасы падами увеличиваются до 10°, редко до 15°. На поверхности террасы местами наблюдается бугристо-западинный рельеф.

К эрозионным формам рельефа относятся днища падей и долины мелких рек. Наиболее крупной и протяженной является падь Городская, выходящая своим устьем слева на пойму р. Иркут. Долина ее распространяется на 8,3 км, днище пади местами заболочено. Все остальные пади не отличаются большим распространением.

На левобережье р. Ангара самым крупным является Большая Кузьминская и Долгая. Днища падей, как правило, плоские, часто заболоченные, расширяющиеся вблизи устьев, обычно расположенном на одном уровне с поймой рек или крупных падей. В бортах падей и у подножий склонов очень часто встречаются выходы подземных вод, за счет которых формируются постоянные водотоки.

К эрозионно-денудационному типу рельефа относятся склоны речных долин, падей, водоразделов, седловин, поверхности водоразделов.

Склоны от водоразделов к днищам долин и падей занимают значительную часть общей площади района. Склоны крутизной свыше 30°, формируемые обвальными-осыпными процессами, приурочены к ранее интенсивно подмываемым берегам основных рек, а также встречаются вдоль некоторых падей. Склоны крутизной свыше 30° наблюдаются на участках Синюшиной горы и Кайской горы, Толстого мыса и некоторых других участках. По отмеченной выше площади преобладают склоны крутизной 5-15°. Склоны имеют преимущественно выпуклый или прямой профиль. Мощность рыхлых отложений в верхних частях склонов 1-2 м, увеличиваясь к подножьям до 5 м, а иногда и до 10-12 м.

Реки Ангара, Иркут, Ушаковка и Кая разбивают всю территорию города на более или менее крупные междуречные участки. Последние, в свою очередь, многочисленными распадками и рядами расчленяются на более мелкие массивы.

Ангаро-Ушаковский водораздел – единый массив, который простирается с запада на восток. В том же направлении возрастает его абсолютные высоты – от 500 до 530 м. Водораздел относительно низкий, ассиметричен, несколько смещен к долине р. Ушаковки, плоский. Уклоны его поверхности не превышают 2-3°, иногда достигая 5° наклона. Границы между водоразделами и его склонами нечеткие. Ширина собственно водораздельной поверхности колеблется от 400 до 700 м.

Ангаро-Кайский водораздел состоит из ряда разрозненных звеньев, расчлененных падами. Вершинные поверхности водораздельных останцев имеют плоскую форму. Уклоны их от 0° до 5°. Ширина их колеблется от 100 до 550 м. Абсолютные отметки повышаются с северо-запада на юго-восток от 500 до 550 м. Мощность элювиальных отложений обычно не превышает 0,5-2,0 м.

Ангаро-Иркутский водораздел состоит из многих изолированных друг от друга участков, расчлененных падами Шабанка, Городская, Конская голова и другие. Отдельно плоские водораздельные гряды тянутся непрерывно на расстоянии 2,7-3,6 км при ширине от 200 до 600 м. Поверхности их почти всегда плоские, изредка плоско-выпуклые, с уклонами не более 3°. Преобладающие абсолютные высоты водоразделов колеблются в пределах 500-550 м.

Ангаро-Топкинское междуречье распадается на ряд небольших водораздельных поверхностей, имеющих северное простираие. Абсолютные отметки водораздельных вершин 500-550 м. Ширина их незначительна до 300-400 м, поверхности их плоские. Коренные юрские породы залегают почти с поверхности под небольшим покровом рыхлых отложений.

Ушаковско-Топкинский водораздел является наиболее возвышенной частью территории. Абсолютные отметки водораздельных вершин, в большинстве случаев, находятся в пределах 570-580 м. Ширина плоских водораздельных гряд достигает 700-900 м.

Климат

Современный город в зависимости от размера, характера и степени застройки, размещения промышленных объектов, парковых зон создает во многом свой собственный, отличающийся специфическими чертами климат, без учета которого невозможно вести оценку техногенной среды, а также правильное планирование и ведение городского хозяйства. Для характеристики климатических условий использованы многолетние данные наблюдений Гидрометеослужбы г. Иркутска. Результаты метеорологических наблюдений приведены к многолетнему ряду.

Атмосферные осадки. По климатическому районированию М. И. Будыко [15] г. Иркутск расположен в области достаточного увлажнения. В Иркутске в среднем за год выпадает 421 мм осадков, из которых 77% приходится на теплый период и 23% на холодный.

В зависимости от вида атмосферных осадков год делится на два периода: холодный (октябрь-апрель) с преимущественным выпадением твердых осадков и теплый (май-сентябрь) с преобладанием жидких осадков. Из общего количества осадков в году 18% приходится на твердые осадки, 8% на смешанные и 74% на жидкие. Распределение различных видов осадков в течение года приведено на рис. 2-2, а на рис. 2-1 приведен годовой ход месячных сумм осадков.

Повторяемость годового максимума и минимума осадков следующая. Во все месяцы встречаются суммы осадков, превосходящие многолетние нормы в 2-4 раза. Примерно 1 раз в 4-6 лет можно ожидать осадки в 2 раза меньше нормы или, наоборот, больше нормы. Такие сравнительно большие колебания месячных сумм осадков показывают, что в Иркутске наблюдаются резко выраженные дождливые и засушливые периоды.

В метеорологии дождливым считается период, в течение которого осадки выпадают ежедневно или с перерывами не более чем 1 день, а их суточная сум-

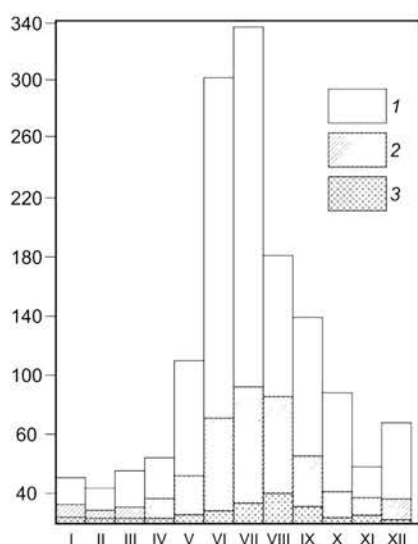


Рис. 2-1. Наибольшая (1), средняя (2) и наименьшая (3) месячная сумма осадков по г. Иркутску

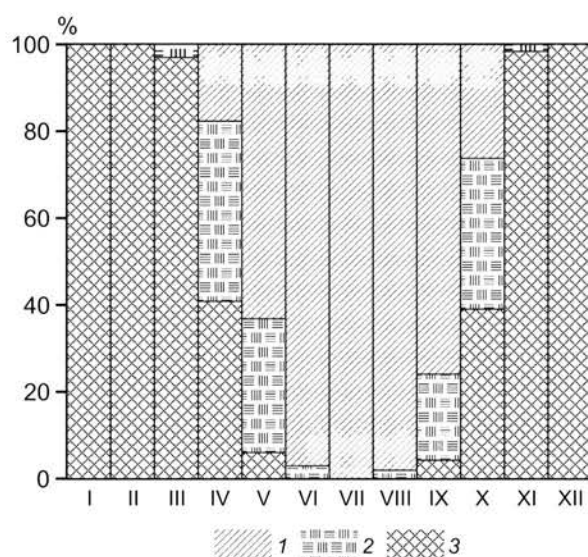


Рис. 2-2. Годовой ход относительного количества жидких (1), смешанных (2) и твердых (3) осадков по г. Иркутску

ма составляет не менее 1 мм. В теплое время в Иркутске преобладают дождливые кратковременные периоды продолжительностью до 2-5 дней. В среднем на каждый месяц теплого времени года приходится около двух таких периодов, а за весь сезон их насчитывается 10. Дождливые периоды продолжительностью 6-10 дней наблюдаются не каждый год (2-5 раз в 10 лет). Дождливые периоды продолжительностью 11-15 дней наблюдаются крайне редко (примерно 1 раз в 20 лет) и только в июне и июле. Дождливые периоды продолжительностью более 15 дней, судя по имеющимся данным, не отмечались вообще.

Сухим считается такой период, в течение которого все дни были без осадков или с осадками менее 1 мм. Сухие периоды в теплое время наблюдаются чаще дождливых и продолжительность их больше. Преобладают сухие периоды продолжительностью 2-5 дней (около 3 периодов в месяц), периоды продолжительностью 6-10 дней бывают 5-6 раз в 4 года. В мае и июне возможны сухие периоды продолжительностью более 20 дней (примерно один раз в 20 лет). Наиболее продолжительный сухой период (29 дней) был зарегистрирован в мае 1968 г.

Почти во все месяцы в Иркутске были случаи, когда за сутки выпадало больше месячной нормы осадков, только в январе, феврале, июле и ноябре суточные максимумы были меньше месячной суммы, но были близки к ней (80-90%). Суточный максимум в апреле 1964 г. составил 156%, а в октябре 1974 г. - 276% месячной нормы. Дни с осадками, составляющими 0,5 месячной нормы, наблюдаются примерно 1 раз в 20-30 лет летом и 1 раз в 50-100 лет зимой. Наибольшее количество осадков за сутки в Иркутске выпало в августе 1962 г., когда выпало 82 мм осадков.

В Иркутске в среднем 5 раз в 4 года наблюдаются дожди, при которых выпадает более 30 мм осадков за сутки или более короткий промежуток времени. В действительности такие дожди наблюдаются не ежегодно, но в некоторые

годы их может быть несколько. Дожди с таким большим количеством осадков наблюдаются преимущественно в теплый период, и на летние месяцы приходится 88% случаев.

Снежный покров. Запасы воды в снежном покрове, характер его залегания зимой и таяния весной, определяют в значительной степени весенний сток, а следовательно, режим рек и других водоемов. Снежный покров задерживает повышение температуры воздуха весной, так как большое количество тепла затрачивается на его таяние. Вместе с тем, снежный покров, являясь плохим проводником тепла, предохраняет почву от сильного выхолаживания, глубокого промерзания и от потери почвенной влаги. Поглощая инфракрасную радиацию почти как черное тело, снег является источником пополнения запасов почвенной влаги.

Первый снежный покров появляется в Иркутске в конце первой декады октября (средняя многолетняя дата 10 октября), а в отдельные годы первый снежный покров может образоваться уже в начале сентября.

Первый выпавший снежный покров, как правило, не остается на зиму, а тает под влиянием последующего потепления. Время от появления первого до образования устойчивого снежного покрова в среднем равно 23 дням. Средняя многолетняя дата образования устойчивого снежного покрова отмечена 2 ноября, но в зависимости от погодных условий в разные годы эта дата может значительно колебаться.

С момента устойчивого залегания снежного покрова начинается рост его высоты. Максимального же значения толщина снежного покрова достигает во второй и третьей декадах февраля: многолетнее среднее значение составило 37 см. В малоснежные зимы наибольшая высота снежного покрова не превышает 28 см, в наиболее снежные его высота достигала 58 см.

Сохраняется устойчивый снежный покров в Иркутске в среднем на протяжении 148 дней (почти пять месяцев). Уменьшение высоты снежного покрова начинается в середине марта. Разрушение и сход протекает интенсивнее, чем образование и нарастание, и к концу марта устойчивый снежный покров разрушается (средняя многолетняя дата 31 марта). В отдельные годы эта дата может сдвигаться в зависимости от погодных условий.

Наименьшая плотность снега в окрестностях Иркутска в октябре и составляет 0,14-0,17 г/см³. В конце марта - начале апреля снег подтаивает и плотность его становится наибольшей - 0,26-0,32 г/см³. Средняя плотность за зиму равна 0,18-0,23 г/см³. Средний запас воды при наибольшей высоте снега равен 40-74 мм. Однако в отдельные годы это значение может значительно изменяться, составляя 27-48 мм при минимальных значениях высоты снежного покрова и 86-142 мм - при максимальных. Максимальный запас воды в снеге различной обеспеченности распределен следующим образом: при обеспеченности в 2, 10, 20, 50 и 95% запас воды в снеге составляет 131, 102, 88, 66 и 46 мм соответственно.

Температура воздуха. Для территории г. Иркутска характерны очень низкие зимние и высокие летние температуры воздуха. Самый холодный месяц -

январь (в 55% лет), средняя многолетняя температура которого $-20,9^{\circ}\text{C}$. На рис. 2-3 приведены средние многолетние месячные и годовые температуры воздуха в Иркутске.

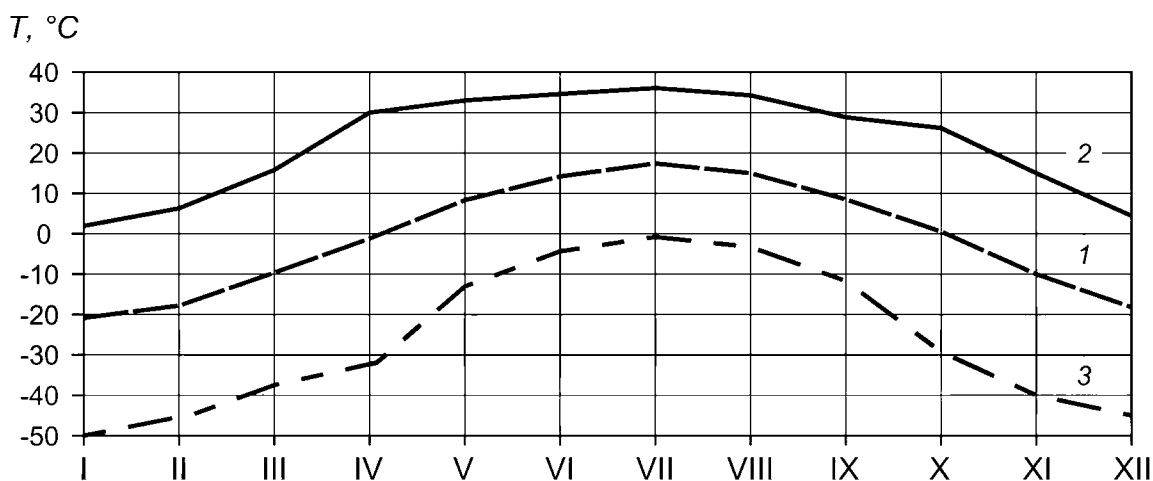


Рис. 2-3. Среднегодовой ход температуры воздуха

1 — средняя месячная; 2 — абсолютный максимум; 3 — абсолютный минимум

В январе и декабре 12-16 дней бывает со средней суточной температурой ниже -20°C , около 3 дней — ниже -30°C и 1 день — ниже -35°C . Повышение температуры в Иркутске начинается в феврале. Вначале температура растет медленно, февраль в среднем всего на $2,6^{\circ}\text{C}$ теплее января. Повышение происходит в связи с увеличением высоты солнца и продолжительности солнечного сияния, однако значительный снежный покров в феврале и марте задерживает рост температуры. Март уже на $8,6^{\circ}\text{C}$ теплее февраля, все еще оставаясь месяцем с отрицательной средней месячной температурой ($-9,7^{\circ}\text{C}$).

В марте начинается интенсивное снеготаяние, и к концу месяца устойчивый снежный покров разрушается. Средняя суточная температура воздуха 28 марта переходит через -5°C . На снеготаяние затрачивается большое количество тепла, и, несмотря на большее количество солнечной радиации в марте по сравнению с февралем, температура в апреле уже на $10,7^{\circ}\text{C}$ выше, чем в марте. Переход через 0°C осуществляется 11 апреля, но и в этом месяце в течение 24 дней средняя суточная температура не поднимается выше 5°C и лишь в отдельные дни может превышать 10°C (3-4 дня за 5 лет).

В мае продолжается интенсивный рост температуры, соответствующий значительному увеличению прихода солнечной радиации. Температура в среднем на $7,4^{\circ}\text{C}$ выше, чем в апреле. Много теплых дней (до 12) со средней суточной температурой выше 10°C . В отдельные дни средняя температура воздуха за сутки достигает $15-20^{\circ}\text{C}$, но таких дней в мае лишь 3, и 1 день в 10 лет бывает по-настоящему жарким со средней температурой выше 20°C .

В последующие месяцы температура повышается медленнее: в июне на $6,4^{\circ}\text{C}$, а в июле на $2,8^{\circ}\text{C}$. Приход солнечной радиации наибольший в июне, а самая высокая температура приходится на июль. В 90% лет, т. е. в 9 из 10 лет, июль самый теплый месяц в году. Один раз в 20 лет наиболее высокие темпера-

туры могут отмечаться в августе и 1 раз в 11 лет - в июне. В июле в среднем в течение 26 дней средняя суточная температура выше 15 °С, из них в течение 8 дней выше 20 °С и лишь 1 раз в 100 лет выше 25 °С, при этом устойчивого перехода через 20 °С в Иркутске практически не отмечается.

С августа температура воздуха начинает медленно понижаться на 2,6 °С. Увеличивается число дней со средней суточной температурой 10-15 °С за счет уменьшения дней с более высокой температурой, но все еще преобладают дни с температурой выше 15 °С (17 дней). Ночью возможны заморозки случайностью 3 раза в 10 лет.

Значительное понижение температуры начинается в сентябре, когда она понижается на 6,9 °С. Однако и в этом месяце много хороших, иногда полетному жарких дней с дневной температурой в отдельные годы выше 20 °С (5-6 дней ежегодно), а иногда и до 25 °С (1 раз в 2 года). Средняя температура днем в сентябре еще довольно высокая - около 15 °С, но ночи значительно холоднее, чем в августе ~ 2 °С.

До декабря температура интенсивно понижается на 8-11 °С от месяца к месяцу. В октябре в течение 5-6 дней средняя суточная температура составляет еще 5-10 °С, часты в течение месяца (около 13 дней) более прохладные погоды с температурой 0-5 °С и в среднем около 13 дней с отрицательной температурой. Переход через 0 °С в сторону понижения осуществляется 18 октября.

Ноябрь - первый месяц с отрицательной средней месячной температурой. Лишь около двух дней в ноябре может быть с температурой выше 0 °С. Из анализа средних декадных температур воздуха (табл. 2-1) видно, что самой холодной является вторая декада января и самой теплой - вторая декада июля. Наиболее быстро растет температура в марте - на 3,6-3,9 °С от декады к декаде. В результате в третьей декаде температура воздуха на 7,4 °С выше, чем в первой.

Таблица 2-1

Средняя декадная температура воздуха

Декада	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	-20,9	-19,7	-13,5	-2,2	6,2	12,9	17,5	16,6	10,4	3,2	-7,2	-17,2
2	-21,1	-18,3	-9,9	1,4	8,3	15,1	17,8	15,2	8,0	0,9	-11,0	-18,9
3	-20,8	-16,6	-6,1	-4,0	10,3	16,6	17,6	13,4	5,5	-2,3	-14,1	-20,0

Зимой, когда преобладают пасмурные дни, воздух днем не успевает значительно прогреться, но и ночью не сильно выхолаживается. В это время года суточный ход выражен слабее, суточные амплитуды составляют 7 °С. Наиболее четкий суточный ход - в летние безоблачные дни, когда днем воздух сильно прогревается, температура достигает максимума в 15-17 ч, запаздывая на 1-2 ч по отношению к максимуму прихода солнечной радиации, а безоблачной но-

чью земля и воздух выхолаживаются, и температура опускается до минимального значения ко времени восхода солнца.

В декабре и феврале можно ожидать 13 дней, а в январе - 17 дней с минимальной температурой ниже -25°C , а 7, 6 и 9 дней для этих же месяцев соответственно с температурой ниже -30°C . В декабре 1 день и январе 2 дня бывает с минимальной температурой ниже -40°C . Минимальная температура в эти месяцы составляет $-24\ldots-26^{\circ}\text{C}$, в наиболее холодные зимы она опускается до $-45\ldots-50^{\circ}\text{C}$.

Для Иркутска средний из ежегодных абсолютных минимумов составляет -41°C , абсолютный -50°C . Вероятность абсолютного минимума температуры воздуха в году ниже -48°C и выше -37°C не превышает 5%, т. е. такие температуры могут наблюдаться не чаще 1 раза в 20 лет.

Максимальная температура воздуха характеризует наиболее теплую часть суток. Ежегодно летом можно ожидать 5-6 дней с максимальной - температурой выше 30°C . Иногда такие температуры отмечаются и в мае. Средние максимальные температуры летних месяцев $22-25^{\circ}\text{C}$. Наиболее высокие температуры воздуха чаще всего (в 60% лет) наблюдаются в июле, реже в июне (28%) и августе (12% лет). Средний из ежегодных абсолютных максимумов температуры в Иркутске составляет 32°C , а самая высокая температура за все годы наблюдений 36°C [34].

Температура почвы. Температура почвы зависит от количества приходящей солнечной радиации, механического состава и структуры почвы, характера растительности, форм рельефа, экспозиции склонов, а зимой в значительной степени от состояния и мощности снежного покрова. Днем поверхность почвы, нагреваясь, передает часть тепла воздуху и нижележащим слоям почвы. Ночью наоборот, земная поверхность охлаждается и понижает температуру приземного слоя воздуха.

В среднем за год температура поверхности почвы в Иркутске равна 0°C , самый холодный месяц - январь. Однако возможны годы, когда температура поверхности почвы в феврале (1964, 1971 г.) и декабре (1959, 1965 г.) была ниже январской. В отдельные годы средняя температура поверхности почвы (снега) в январе может значительно отклоняться от среднего многолетнего значения. Так в 1969 г. средняя температура поверхности почвы в январе была -31°C , а в 1964 г. всего -18°C .

В зимние месяцы средняя месячная температура поверхности почвы составляет $-21\ldots-24^{\circ}\text{C}$, температура поверхности почвы, не покрытой снегом, несколько выше и равна $-19\ldots-22^{\circ}\text{C}$. Средняя месячная температура почвы в дневные часы поднимается до $-6\ldots-17^{\circ}\text{C}$, в ночные понижается до $-29\ldots-32^{\circ}\text{C}$. Суточные амплитуды температуры невелики, но в отдельные зимние дни они могут быть более -25°C . В каждом из зимних месяцев бывают дни, когда на поверхности почвы в дневные часы температура поднимается до положительных значений. Абсолютные значения ее составляют в декабре 3°C , в январе 2°C и в феврале 10°C .

Самая высокая температура на поверхности почвы, как и в воздухе, наблюдаются в июле, а иногда в июне (1965, 1966, 1972, 1973 гг.). В летние месяцы почва значительно прогревается и средняя температура на ее поверхности в 18-22 °С на 3-5 °С превышает температуру воздуха. Во все летние месяцы на поверхности почвы возможны заморозки: в холодные июльские и августовские ночи температура может понижаться до -1...-3 °С, а в июне даже до -6 °С. Самый ранний заморозок наблюдался 17 августа 1972 г., самый поздний - 22 сентября 1971 г.

Средняя годовая температура пятиметрового слоя почвы в городе на всех глубинах начиная с 20 см составляет около 3 °С (табл. 2-2). В верхнем метровом слое суточные колебания температуры постепенно затухают с глубиной. Если средняя за год суточная амплитуда температуры на поверхности почвы равна 18 °С, то на глубине 80 см она близка к 0 °С. Максимальная средняя месячная температура в метровом слое наблюдается в июле-августе и составляет 12-17 °С, минимальная - в феврале, причем в верхнем слое она равна -9 °С, а в нижнем - несколько выше (-2 °С).

Таблица 2-2

Средняя месячная температура почвы на глубинах

Глубина, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
0,2	-8,9	-9,1	-5,1	0,0	7,0	12,8	16,8	15,9	10,3	3,1	-2,9	-7,2	2,7
0,4	-6,4	-7,1	-4,3	-0,4	4,4	10,3	14,7	14,9	10,5	4,3	-0,7	-4,5	3,0
0,6	-2,6	-3,4	-2,6	-0,6	1,7	6,9	11,5	13,1	10,2	5,2	1,2	-1,1	3,3
0,8	-1,2	-2,2	-2,0	-0,6	0,5	4,7	9,6	11,8	9,9	5,9	2,3	0,3	3,2
1,2	0,7	0,0	-0,4	-0,2	0,0	1,8	6,3	9,2	8,8	6,2	3,4	1,7	3,1
1,6	1,6	0,9	0,4	0,3	0,3	1,0	4,4	7,3	7,9	6,5	4,4	2,7	3,1
2,4	2,8	2,1	1,6	1,3	1,1	1,3	3,2	5,4	6,5	6,3	5,2	3,9	3,4
3,2	3,6	2,8	2,4	2,0	1,8	1,6	2,2	3,7	4,9	5,3	5,1	4,3	3,3
3,8	4,0	3,4	3,0	2,6	2,3	2,1	2,2	3,1	4,1	4,7	4,9	4,5	3,4
5,0	4,1	3,8	3,4	3,1	2,8	2,6	2,5	2,7	3,3	3,9	4,3	4,3	3,4

В слое от 1 до 2 м суточные изменения температуры почти отсутствуют, уменьшаются и годовые. Средняя месячная температура во все месяцы становится положительной. В годовом ходе минимальная средняя месячная температура в верхнем слое смещается на март-апрель, максимальная на август-сентябрь. В слое 2-3 м минимальная средняя месячная температура сдвигается на май-июнь, максимальная - отмечается в сентябре-октябре. На глубине 5 м в годовом ходе особенно резко проявляется запаздывание максимумов и минимумов по сравнению с более высокими горизонтами. Минимальная температура на этой глубине наблюдается лишь в июле, максимальная в ноябре-декабре. Температура почвы под оголенной поверхностью на различных глубинах в холодную часть года значительно ниже, а летом до глубины 1 м выше, чем под естественной.

Важной характеристикой термического режима почвы является глубина промерзания – отметки в 2,0-2,5 м от поверхности стабильны для г. Иркутска и его окрестностей. Промерзание почвы начинается после перехода ее температуры через 0 °С. Это связано главным образом с определенной концентрацией солей в почвенной влаге. Поэтому глубина промерзания почвы меньше глубины проникновения температуры 0 °С. В Иркутске устойчивое промерзание почвы в среднем начинается в конце октября, в отдельные годы оно возможно и в его начале. Наибольшая глубина промерзания наступает в марте. Под естественной поверхностью средняя из максимальных глубин промерзания почвы составляет 128 см, максимальная - 150 см (1969, 1971 г.). Средняя из максимальных глубин проникновения температуры 0 °С в почву равна 144 см, максимальная - 196 см (1936 г.). Почва под оголенной поверхностью промерзает на большую глубину: средняя из максимальных глубин промерзания почвы равна 193 см, а средняя из максимальных глубин проникновения температуры 0 °С в почву - 256 см.

Заморозки в почве начинаются позже и заканчиваются раньше, чем на ее поверхности, увеличивается и продолжительность безморозного периода. Оттаивание почвы начинается в среднем 7 апреля, наиболее ранняя дата возможна в начале второй декады марта. Полностью почва оттаивает в конце июня, а под оголенной поверхностью лишь в начале августа.

Климатические особенности города и его окрестностей. В Иркутске средняя годовая температура -1,1...-1,4 °С, тогда как в пригородной зоне и сельской местности она на 0,8-1,5 °С ниже. В юго-восточной части пригородной зоны (Байкальский тракт, пос. Молодежный) средняя годовая температура составляет -1,7 °С, что на 0,5 °С ниже средней по городу. Эти разности в средних годовых температурах можно считать значительными. Средние месячные температуры воздуха большую часть года на 0,3-0,6 °С выше, чем в пригородной зоне, и на 0,7-0,9 °С выше по сравнению с сельской местностью.

В зимнее время температурные особенности города проявляются резче. Зимой город на 1,0-1,7 °С теплее пригородной зоны и на 1,4-2,0 °С теплее сельской местности. Столь большие температурные контрасты объясняются влиянием города, его ростом и развитием, а также утепляющим эффектом р. Ангары и Иркутского водохранилища в холодную часть года.

В Иркутске в течение всего года средняя месячная температура поверхности почвы на 1-2 °С выше, чем в окрестностях, наибольшие различия наблюдаются в марте (до 3,5 °С). Средняя из максимальных глубин промерзания почвы в окрестностях города равна 260 см, в то время как в городе она не превышает 200 см. Оттаивание почвы за городом начинается на 2-3 недели позже, чем в городе.

2.2. Гидрологические условия

Рассматриваемая территория города расположена в истоковой части р. Ангары вниз по течению и характеризуется хорошо развитой речной сетью. Гидросеть представлена основной дреной р. Ангарой с левым крупным прито-

ком – р. Иркут, правым – р. Куда и более мелкими реками – рр. Ушаковка, Кая и Топка. Кроме того, имеется большое количество мелких речек и ручьев.

Река Ангара – река с хорошо зарегулированным малоизменчивым стоком, вытекает из озера Байкал, является главной водной артерией территории. По данным Иркутского управления гидрометеослужбы (Иркутское УГМС) среднегодовой сток реки Ангары изменяется в пределах от 1470 до 2910 м³/сек, минимальный зимний расход составляет 1050 м³/сек (1986 г.), а летний 1300 м³/сек (1981 г.). В годовом режиме стока Ангары можно выделить маловодный зимне-весенний и многоводный летне-весенний периоды. Среднемесячные расходы изменяются от 5,4 до 11,8% годового расхода. С пуском Иркутской ГЭС в 1957 году режим реки определяется условиями ее эксплуатации.

Река Иркут – крупный левобережный приток р. Ангары, является типичной равнинной рекой с широкой и хорошо разработанной долиной и меандрирующим руслом. Весеннее половодье характеризуется небольшим подъемом уровня (0,5-1,0 м) в течение двух недель. Наивысший уровень обычно в июле. Летней устойчивой межени не бывает. В сентябре-октябре наблюдается медленное и плавное снижение уровней с падением перед ледоставом в конце октября. Уровни в предледоставный период являются самыми низкими. С установлением ледостава они повышаются до 1 м за счет ледовых процессов, после чего в течение всего зимнего периода наблюдается медленный спад. Норма стока р. Иркут в створе д. Смоленщина по наблюдениям составляет 140 м³/сек (табл. 2-4). Для реки характерно преобладание стока теплого полугодия, достигающего до 85% от годового (табл. 2-3). Объем стока за июнь-август равен обычно 60% годового. Максимальные расходы приходятся на конец июня – начало августа. Зимняя межень устойчивая. Минимальные расходы наблюдаются от ноября до марта включительно и характеризуются стабильностью в многолетнем разрезе.

Река Ушаковка формирует 80% стока на территории Прииркутской впадины. Для нее характерна низкая величина стока в зимнее время и сосредоточение в теплое время года до 90% объема. В поле развития юрских отложений она является равнинной рекой с меандрирующим руслом, широкой долиной, умеренно заболоченной и выполненной аллювиальными отложениями. Среднегодовой расход на устье 6,19 м³/сек, вблизи контакта кембрийских и юрских отложений – 1,62 м³/сек. Внутригодовое распределение стока характеризуется отсутствием стабильной летней межени, низкими неустойчивыми среднемесячными расходами зимнего периода (табл. 2-3); 95% годового объема стока приходится на теплый период. Минимальные расходы приходятся на январь-март. В это время наблюдается значительные потери стока на ледо- и наледообразование.

Река Куда на территории представлена нижней частью бассейна. Это типичная равнинная река с очень широкой и отлично разработанной долиной и в сильнейшей степени меандрированным руслом. Пойма и поверхность первой надпойменной террасы во многих местах заболочены и переувлажнены. Широким развитием на пойме пользуются торфяно-глинистые грунты. Среднегодо-

вой многолетний сток реки составляет 14,8 м³/сек, модуль 1,9 л/сек·км². Небольшая величина модуля объясняется общим уменьшением суммы осадков в бассейне водосбора, высоким испарением с суши и относительно слабой дренирующей способностью реки. Внутригодовое распределение стока крайне неравномерно: 95% годового объема приходится на теплый период (табл. 2-3). В зимнее и предвесеннее время среднемесячные расходы неустойчивые и малы,

Таблица 2-3

Внутригодовое распределение стока по месяцам и сезонам
(в процентах от годового стока)

Река	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
	Зима			Весна			Лето			Осень		
Ангара	8,2	7,2	6,5	5,9	5,4	5,8	7,4	9,5	11,0	11,8	11,4	9,9
	22			17			28			33		
Иркут	2,1	1,5	1,3	1,4	4,3	10,3	17,3	20,1	18,9	13,5	6,8	2,5
	7			16			57			2		
Ушаковка	2,4	0,4	0,2	0,4	11,4	17,1	16,6	18,1	14,8	10,1	6,1	2,4
	3			29			5			18		
Куда	1,4	0,8	0,4	0,4	14,9	17,1	13,7	16,7	13,6	11,2	7,2	2,6
	3			32			44			21		
Кая	1,9	1,5	1,4	2,7	22,5	10,8	10,7	15,6	11,6	10,4	7,7	3,4
	5			36			38			21		

Таблица 2-4

Среднегодовые расходы воды и модули стока реки по створам
(в пределах города Иркутска и окрестностей)

Река	Расположение створа	Период наблюдения	Площадь водосбора, км ²	Средний расход, м ³ /сек	Многолетний модуль стока, л/сек·км ²
Иркут	д. Смоленщина	1927	14800	140	9,50
Ушаковка	г. Иркутск	1940-54	829	6,19	7,3
Куда	д. Грановщина	1938	7840	14,8	1,90
Кая	п. Мельниково	1948-64	188	0,57	3,00

весьма часто снижаются до нуля. По многолетним наблюдениям Гидрометеослужбы следует, что в период ноябрь-март среднемесячный сток Куды на замыкающем створе меньше суммы стока в вышележащей части бассейна. Отрицательное приращение расходов происходит из-за потерь стока на образование наледей. Промерзание реки происходит на многочисленных перекатах. Наледообразование наблюдается почти повсеместно и происходит в течение всей зимы. Максимальные расходы приурочены обычно на апрель-май, либо на июль-август.

Река Кая относится к рекам, формирующим сток в пределах Прииркутской впадины (как и некоторые другие вне рассматриваемой территории – Бол.

и Мал. Еловки, Бол. и Мал. Кот, Оек и др., а также многочисленные ручьи). Весьма показательными для группы являются малые площади водосбора (200-600 км²), сосредоточение в теплое время всего жидкого стока и перемерзание некоторых рек в течение 3-5 месяцев (рис. 2-4). Среднегодовой расход этих рек не превышает 1 м³/сек, а модули стока наблюдаются от 2,‰ до 3,5 л/сек·км². Ре-

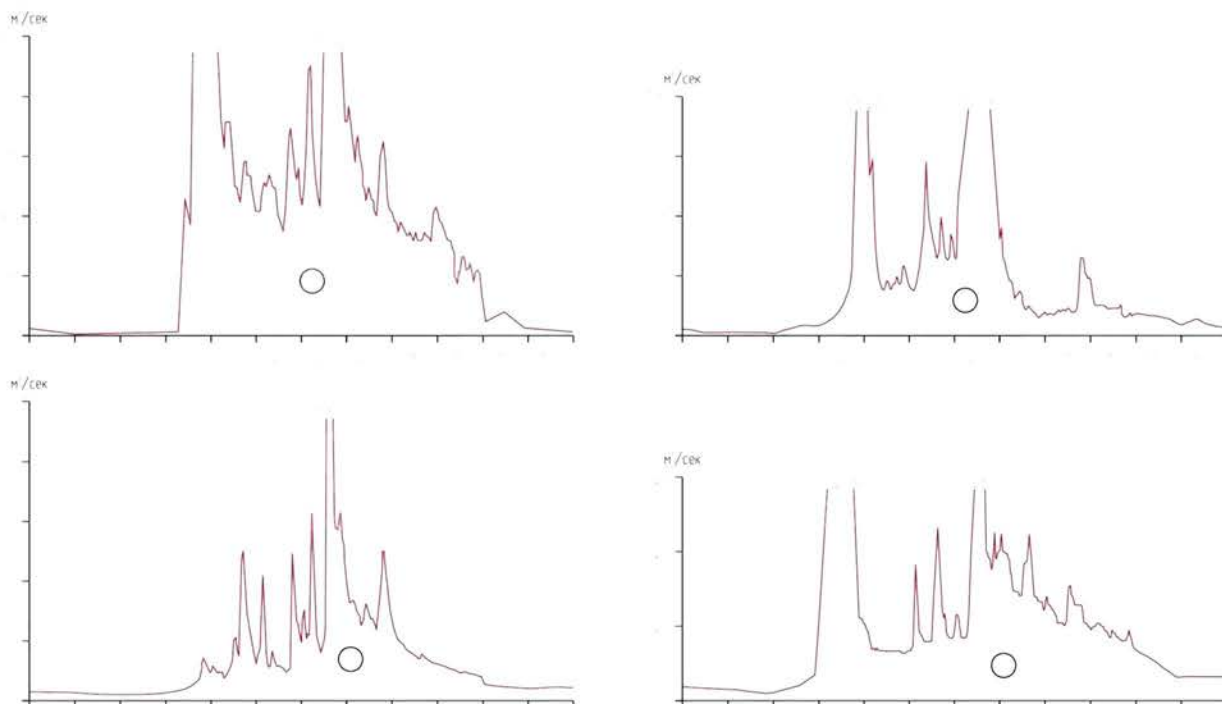


Рис. 2-4. Гидрографы рек (год средней водности)
1 – р. Куды; 2 – р. Иркут; 3 – р. Ушаковка; 4 – р. Кая

ка Кая является правым притоком Иркута. Площадь ее водосбора 188 км², среднегодовой расход равен 0,57 м³/сек, модуль стока 3,0 л/сек·км². За многолетний период наблюдений исчезновение стока в зимнее время не отмечалось. Река Кая имеет глубокую и неширокую долину. Днище долины переувлажнено, заболочено, заторфовано и выполнено песком. Внутригодовое распределение стока по режиму сходно с реками второй группы, только максимальные среднемесячные расходы приходятся на апрель, а минимальные наблюдаются в феврале-марте.

По химическому составу речные воды довольно разнообразны и, за исключением р. Куды, являются гидрокарбонатными магниево-кальциевыми. Различия видимы лишь в степени минерализации. Воды р. Ангары имеют минерализацию менее 100 мг/л; рр. Иркут, Ушаковка – до 200 мг/л; р. Кая – до 300 мг/л. В зимнюю межень минерализация воды во всех реках, кроме р. Ангары, повышается на 50-100 мг/л, а в весенние и летние паводки уменьшаются на 50-100 мг/л.

Вода р. Куды имеет хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатный, местами натриево-магниево-кальциевый состав с минерализацией до 900 мг/л. Специфичность состава и повышенная минерализация объясняется тем, что значительная часть водосбора расположена в области развития загипсованных кем-

брийских пород. В пределах территории города Иркутска минерализация и химический состав воды р. Куды неизменен и в летнее время равен 400-450 мг/л. Зимой минерализация повышается до 550-600 мг/л.

2.3. Геологическое строение зоны аэрации и насыщения

В геологическом отношении Иркутск с окрестностями изучен очень детально. Большой объем информации получен был по результатам геологических съемок разного масштаба, а также региональных работ при поисках нефтегазопроявлений. Настоящей работой внимание уделяется в большей степени верхней части геологического разреза территории, характеристика которого в сжатой форме излагается далее.

Рассматриваемая территория охватывает юго-восточную оконечность и частично центральную часть Прииркутской впадины, расположенной в непосредственной близости от области слияния двух крупных структурных регионов: Восточного Саяна и Байкальской складчатой зоны, являющихся источником питания выполняющей ее мощной континентальной толщи юрского возраста. Эти отложения, обладающие здесь максимальной для всего угленосного бассейна мощностью, на основе литологических признаков, характеризующихся определенными физико-геологическими условиями образования и споропыльцевого комплекса, подразделены на три свиты: черемховскую, присаянскую и кудинскую с соответствующими более дробными подразделениями, отвечающими нижнему и среднему отделам юрской системы (рис. 2-5). Отложения юры с резким угловым и стратиграфическим несогласием налегают на неровную поверхность нижнекембрийских карбонатных пород, подверженных значительному выветриванию и размыву, продукты которого нередко наблюдаются в базальных горизонтах юры. Рыхлые четвертичные отложения, расположенные повсеместно, представлены различными генетическими разновидностями, соответствующими отделам четвертичной системы.

Возрастное взаимоотношение отмеченных на территории пород и подразделений на охваченную в данном исследовании глубину по литолого-фациальным признакам характеризуется соответствующим стратиграфическим разрезом (снизу):

Палеозойская группа

Кембрийская система

Нижний отдел

I. Ангарская свита (C_{1an})

Мезозойская группа

Юрская система

Нижний отдел

I. Черемховская свита (J_{1cr})

1. Нижняя подсвита (J_1cr_1)а) Первая пачка – ($J_1cr_1^1$)б) Вторая пачка – ($J_1cr_1^2$)2. Верхняя подсвита (J_1cr_2)а) Первая пачка ($J_1cr_2^1$)б) Вторая пачка ($J_1cr_2^2$)

Средний отдел

II. Присянская свита (J_2ps)1. Нижняя подсвита – *иданская* (J_2ps_1)2. Верхняя подсвита – *суховская* (J_2ps_2)III. Кудинская свита (J_2kd)1. Нижняя подсвита (J_2kd_1)2. Верхняя подсвита (J_2kd_2)

Кайнозойская группа

Четвертичная система

Средний отдел (Q_2) - отложения четвертой надпойменной террасыСредний – верхний отдел (Q_{2-3}) - отложения третьей надпойменной террасыВерхний отдел (Q_3) – отложения второй надпойменной террасыВерхний – современный отдел (Q_{3-4}) – отложения первой надпойменной террасыСовременный отдел (Q_4) – отложения пойм и русел*Палеозойская группа $\Rightarrow$ Кембрийская система $\Rightarrow$ Нижний отдел*

Ангарская свита (ϵ_{1an}) представляет собой переслаивание брекчий, сложенной слабоокатанной остроугольной галькой кремнистых пород, кремнистых доломитов, кавернозных слабо выщелоченных известняков и кремнистых стяжений из доломитов. Цементом брекчий служит кремнисто-глинистый материал с преобладанием каолина. Количество обломочного материала достигает 60-70%, размер обломков 0,5 до 8 см в диаметре с преобладанием фракции 2-3 см. Цвет брекчий серый с зеленоватым оттенком. Иногда брекчия образует несколько слоев, разграниченных доломитами.

Ниже следуют монолитные, очень плотные темно-серые, с кремовым оттенком доломиты, имеющие остро-угловатый излом и тонкие горизонтальные закрытые трещины, по стенкам которых наблюдается скопление битуминозного материала. Скремнение распределено по всему слою равномерно и придает по-

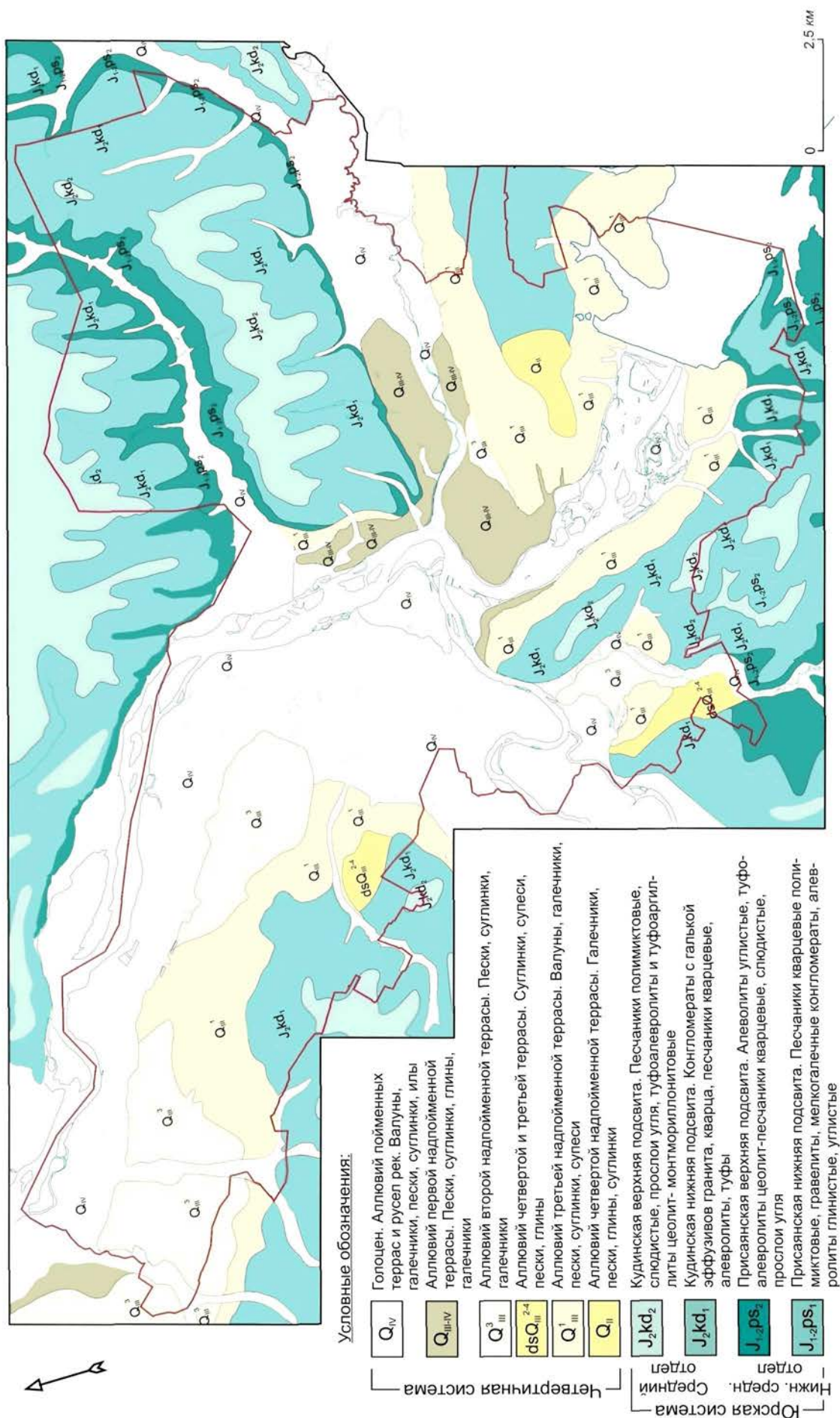


Рис. 2-5. Геологическая карта г. Иркутска с прилегающей территорией
(сост. по мат. Демьянович Н.И. [1,2]; Пермякова С.А., 1985 г.; Рыбакова В.Г., 1999 г.; Шурыгина Б.Л., 1969 г.)

роде монолитный облик. Структура доломитов, преимущественно мелкозернистая, гранобластовая, иногда участками отмечается сфелоритовая, скрытокристаллическая.

Полная мощность ангарской свиты в юго-восточной оконечности Иркутского угленосного бассейна, куда входит исследуемая территория, по данным Исаковой В.С. [32], предположительно соответствует 300-400 м., а на смежных площадях мощность составляет уже до 600 м.

Мезозойская группа $\Rightarrow$ Юрская система

Юрская угленосная формация согласно материалам геологических съемочных работ Сироткина Л.А. и Шурыгина Б.Л. (1964 г., 1969 г.) на рассматриваемой территории подразделена на три отдела. Нижний отдел, начинающийся базальными конгломератами и перекрывающийся грубокластическими образованиями иданской пачки, соответствует в предлагаемой схеме черемховской свите и подразделяется по литолого-фаціальным признакам на две подсвиты: нижнюю, соответствующую заларинской свите, и верхнюю, отвечающую полному объему черемховской свиты.

Средний отдел охватывает часть разреза от подошвы иданской грубозернистой пачки до кровли относительно углеобильной суховской пачки. Нижняя граница этого отдела в полной мере соответствует нижней границе присаянской свиты и в тоже время является по палинологическим данным возрастной границей между нижними и средними отделами юрской системы.

Верхний отдел (кудинская свита) начинается конгломератами или крупно-, среднезернистыми песчаниками, переходящими в верхней части разреза в песчано-глинистые отложения и соответствует выделяемой ранее кудинской фации. Эта свита по литолого-фаціальным признакам подразделена на две подсвиты: нижнюю – конгломерато-песчаную и верхнюю – песчано-глинистую.

Геологическая характеристика разреза юрских стратиграфических подразделений приводится далее в хронологическом порядке, начиная с более древних. В виду большого количества информации по отдельным подразделениям Черемховской, Присаянской и Кудинской свит, описание разреза уместным видится изложить в более кратком виде без детализации подсвит.

Нижний отдел $\Rightarrow$ Черемховская свита (J_{1cr})

Отложения черемховской свиты в пределах исследуемой территории имеют незначительные по площади выходы на дневную поверхность. Они отмечены по правобережью р. Иркуты, к югу от поселка Баклаши, где ими выполнена при меньших углах флексура, образованная подстилающими их отложениями ангарской свиты. Кроме этого, черемховские породы повсеместно в пределах площади отмечены под образованиями присаянской свиты (по материалам геологосъемочных работ Сироткина Л.А., 1964 г.; Шурыгина Б.Л., 1969 г.; Рыбакова В.Г., 1999 г.).

В пределах свиты по литолого-фаціальным признакам в какой-то мере условно выделены две подсвиты - нижняя и верхняя. Граница между этими стратиграфическими подразделениями проводится по появлению в разрезе первых после конгломератов алевролитов-аргиллитовых прослоек с углем, являю-

щихся естественным завершением ритма. В составе каждой подсвиты на основании разницы в характере ритмичности и литологического состава выделено ряд пачек, которые достаточно четко прослеживаются по площади.

Нижняя подсвита (J_1cr_1) по площади распространена мощной песчано-конгломератовой толщей, залегающей на размытую поверхность ангарской свиты нижнего кембрия. Общей характерной чертой подсвиты, отличающей ее от вышележащих пород, является преобладание в разрезе в основном грубокластического материала – конгломератов и грубо- крупнозернистых песчаников, содержащих незначительные прослои более тонкого материала и, в верхней части разреза угля.

При рассмотрении пород подсвиты наблюдается неравномерное расположение в разрезе гранулометрических разновидностей. Нижняя часть разреза этой подсвиты, наиболее мощная, преимущественно конгломератовая; верхняя исключительно песчаниковая. Это обстоятельство позволило при изучении геологического строения в составе подсвиты выделить две пачки – *первую* ($J_1cr_1^1$) и *вторую* ($J_1cr_1^2$).

Первая пачка ($J_1cr_1^1$) на исследуемой площади является базальной. Эти отложения не имеют выходов на дневную поверхность, повсеместно отмечены в основании юрской толщи; являются образованиями, выполняющими первичные впадины доюрского рельефа, эрозионного и тектонического происхождения. В окрестностях г. Иркутска пачка имеет максимальную мощность в 115 м. В районе поселка Марково мощность пачки значительно сокращается и составляет 47 м. В целом пачка сложена конгломератами с подчиненным количеством песчаного материала от грубо- до мелкозернистого с редкими прослоями алевролитов и линзами углей.

Вторая пачка ($J_1cr_1^2$) в отличие от первой имеет выходы на дневную поверхность. Они распространены в виде узкой полосы в самом юго-западной части территории, также отложения пачки были прослежены повсеместно непосредственно на породах первой пачки, которые они согласно перекрывают и имеют с последними постепенные переходы. Вторая пачка является непосредственным продолжением первой, имеет с ней единый состав. Общая мощность пачки не постоянна и колеблется от 15-30 м в долине р. Ушаковки и по левобережью р. Иркуты до 37-45 м в центральной части площади. В юго-западном углу, вблизи выхода на дневную поверхность, мощность пачки плавно убывает за счет эрозийной деятельности на фоне общего прогибания от 36 до 32 м в сторону складчатого обрамления.

Верхняя подсвита (J_1cr_2) согласно перекрывает отложения фаций нижней подсвиты, а отсутствие четкости границ между этими подразделениями создает некоторую условность их выделения. Однако анализ литогенетических типов, слагающих верхнюю часть черемховской свиты и являющихся прямым отражением определенных фациальных обстановок позволил отличить эту часть разреза юрских отложений от подстилающих и перекрывающих. В пределах подсвиты, в ее нижней и верхней частях имеется разнохарактерность в литолого-

фациальной обстановке, по которой выделяется в ее составе две пачки - *первая* ($J_1cr_2^1$) и *вторая* ($J_1cr_2^2$).

Первая пачка ($J_1cr_2^1$) отмечена лишь на правом берегу р. Иркут, южнее пос. Баклаши. Пачка согласно залегает на породах нижней подсвиты. Нижняя граница ее проводится условно по подошве крупно-среднезернистых, реже гравелитистых песчаников, выше которых в разрезе отмечается резкое уменьшение грубого материала, появление значительного количества прослоев алевролитов, аргиллитов и угля, достигающего иногда промышленной мощности.

Основание пачки начинается с крупно-, среднезернистого песчаника, редко гравелитом, которые постепенно сменяются мелко-, тонкозернистыми песчаниками, которые, в свою очередь, перекрываются алевролитами, аргиллитами и завершается углем. Выше по разрезу залегают преимущественно мелкозернистые, редко среднезернистые песчаники. Мощность пачки по площади меняется в пределах от 40 до 100 м, максимальную мощность имеет на левом берегу р. Иркут в 98-100 м и несколько меньше на правом берегу р. Ангары – до 83-85 м. Расположение мощностей находится в прямой зависимости от рельефа кровли первой пачки нижней подсвиты, связанного в свою очередь с рельефом подстилающих кембрийских пород.

Вторая пачка ($J_1cr_2^2$) пространственно располагается с вышеописанной, но на дневную поверхность не имеет выходов. Непосредственно под 25-30 м чехлом четвертичных отложений пачка вскрыта при проведении геологосъемочных работ несколькими скважинами южнее пос. Баклаши и повсеместно на образованиях первой пачки. Пачку характеризует почти исключительный песчаный состав с преимущественным распространением мелко- и тонкозернистых песчаников; последние зачастую являются переходными разновидностями к алевролитам. В очень редких случаях отмечаются маломощные от 0,05 до 0,2 прослои угля, которые часто тяготеют к верхней части пачки. По площади мощность пачки неодинаковая и варьирует от 86 – до 128 м.

Средний отдел $\Rightarrow$ Присаянская свита (J_2ps)

Непосредственно на нижнеюрские осадки залегает присаянская свита среднего отдела юры. Нижняя часть свиты характеризуется подавляющим развитием руслового аллювия, но в отличие от первой пачки предыдущего микроритма, являющегося образованием менее интенсивного водного потока. По литологическому составу это почти исключительно песчаники (рис. 2-6). Верхнее, наиболее мощное крыло этого макроритма, сложено литологическими разновидностями пойменной фации и фации углеобразования, довольно часто сменяющих друг друга. Эта закономерность в расположении кластического материала позволила в составе свиты выделить две подсвиты.

Нижняя подсвита – иданская (J_2ps_1) впервые под названием Иданской пачки была выделена Ю.А. Жемчужниковым [28] и в последствии отмечалась при региональных съемках под названием горизонта песчаников. Подсвита четко отличается от подстилающих ее образований в характере ритмичности и в гранулометрическом составе. Для подсвиты характерно преобладание песчаников из крупно- среднезернистого материала, гравелитов, имеющих небольшие



Рис. 2-6. Обнажения песчаников присаянской свиты

мощности. На правобережье р. Ангары подсвита имеет минимальную мощность 53-54 м. Максимальная мощность отмечена на левобережье р. Иркутта – 79 м в районе пос. Марково. Отмечается также убывание мощности подсвиты в сторону г. Иркутска от 50 до 70 м.

Верхняя подсвита – суховская (J_2ps_2) является единственной обнаженной частью разреза свиты. Непосредственно на дневной поверхности она отмечена на левобережье р. Ангары, у г. Иркутска, где породы подсвиты слагают ядро Иркутского антиклинального поднятия. Коренные выходы пород известны также на левом берегу р. Иркутта, севернее пос. Баклаши и на правобережье р. Иркутта, в юго-западной части рассматриваемой площади. Характерной особенностью подсвиты, отличающей ее от других частей разреза, является частое чередование слагающих ее литологических разновидностей, редко достигающих 5-6 м мощности, и резко подчиненное положение в ее разрезе русловых фаций. По литологическому составу в подсвите отмечены в одинаковых количествах мелко- и тонкозернистые песчаники. В несколько меньшем количестве в разрезе присутствуют алевролиты и очень редко среднезернистые и крупнозернистые песчаники. Крайне характерным для подсвиты является обильная угленасыщенность. Общая мощность подсвиты непостоянна и меняется от 110-125 м на подавляющей части площади до 53 м по течению р. Ушаковки, где максимально развиты конгломераты, перекрывающие подсвиту кудинской свиты.

Кудинская свита (J_2kd)

На углистые отложения верхней подсвиты присаянской свиты со скрытым стратиграфическим несогласием залегает *кудинская свита (J_2kd)*. В пределах Иркутских окрестностей отложения свиты пользуются ограниченным распространением. Они отмечены к северу и северо-востоку от г. Иркутска, и к северо-западу и западу от г. Иркутска, где отложения свиты эродированы и сохранились только лишь на высоких гипсометрических отметках. По своему литологическому составу и по условиям образования в пределах свиты выделяют две подсвиты – нижнюю и верхнюю.

Нижняя подсвита (J_2kd_1) в пределах изучаемой площади наиболее распространена на поверхности. Коренные выходы подсвиты концентрируются, в основном, в долинах крупных рек и наблюдаются на правом крутом склоне долины р. Ушаковки, вблизи устья пади Плишкина и непосредственно у г. Иркутска. Кроме того, на дневной поверхности породы подсвиты отмечены участками на водоразделе р. Иркут и руч. Шалина, в районе г. Иркутска (рис. 2-7).



Рис. 2-7. Коренные выходы пород кудинской свиты

В основании подсвиты залегают конгломераты, максимальная мощность которых достигает 17 м, а минимальная 2 м. В них доминируют плохо окатанные гальки магматических пород от 2 см и более, а цементированы они слабым песчано-глинистым материалом. Выше по разрезу конгломераты сменяются менее грубым материалом. Это преимущественно мелко- и тонкозернистые песчаники, алевролиты, редко среднезернистые песчаники, аргиллиты и угли. Подсвиту также характеризует малое количество угольных прослоев, мощность которых колеблется от 0,1 до 0,2 м. Породы имеют серую, реже темно-серую окраску, преимущественно слоистую и массивную текстуру. Полная мощность подсвиты непостоянная и убывает с запада на восток от 70-79 м на левобережье р. Иркут до 45-50 м на правобережье рр. Ангары и Ушаковки.

Верхняя подсвита (J_2kd_2) имеет исключительно ограниченное распространение в пределах Иркутского узла. Подсвита занимает наиболее повышенные участки местности и отмечена на левобережье р. Иркут и на водоразделах рр. Ангары и Ушаковки. Отдельные, небольшие по площади, эрозионные

останцы пород верхней подсвиты наблюдались на водоразделах рр. Ангара – Каи и Каи – Олхи. Коренные выходы пород отмечены вблизи устья пади Плишкина.

По литологическому составу среди пород подсвиты выделены гравелистые разнотернистые полимиктовые песчаники, средне- и мелкозернистые песчаники, иногда их слюдистые разновидности, алевролиты и аргиллиты. Мощность подсвиты достигает 87 м, ее же она сохраняет на всем правобережье рр. Ангара и Ушаковки. В западном направлении отложения подсвиты в значительной степени эродированы – здесь мощность составляет 25-48 м. В отличие от нижней подсвиты, в разрезе верхней широко распространены породы с интенсивной вторичной каолинизацией, обуславливающей характерную, почти белую, их окраску.

Кайнозойская группа $\Rightarrow$ Четвертичная система

Четвертичные образования имеют исключительное большое развитие на рассматриваемой территории, выполняя широкие долины рек Ангара, Иркут, Ушаковки, Каи и др. Они представлены средним, верхним и современным отделами.

Средний отдел. К среднему отделу относятся аллювиальные образования четвертой эрозионно-аккумулятивной надпойменной террасы р. Ангара (мысовое окончание Ангаро-Ушаковского междуречья). Высота террасы 25-35 м, морфологически в рельефе не выражена, бровка и тыльный шов погребены под толщей покровных суглинков. Отложения террасы представлены песчано-галечниковым аллювием мощностью до 10 м, который перекрыт 7-14 м слоем делювиальных суглинков.

Средний-верхний отделы нерасчлененные. К ним относятся аллювиальные отложения третьей эрозионно-аккумулятивной надпойменной террасы высотой 18-25 м. Цоколь террасы залегает выше меженного уровня реки на 5-9 м. Рассматриваемые образования прослеживаются на левобережье р. Ангара, междуречье Китой-Ангара, левобережье Иркут, междуречье Иркут-Кая, левобережье р. Ушаковки, левобережье р. Куда и по правому берегу р. Ангара. В основании разреза залегают гравийно-галечниковый русловой элювий мощностью 3-12 м, перекрываемый 3-4 м пойменного аллювия, обычно представленного мелко-среднезернистым песком. Аллювиальные образования перекрываются покровными суглинками мощностью 10-30 м. Исключение составляет участок Ангаро-Китойского междуречья, где делювиальные суглинки отсутствуют.

Верхний отдел. К верхнему отделу относятся аллювиальные отложения второй аккумулятивной надпойменной террасы высотой 10-15 м, получивших широкое распространение главным образом в долине рр. Куды и Иркут. Цоколь юрских пород залегает выше меженного уровня воды в реке на 1-3 м, за исключением участка на Иркут-Олхинском междуречье. Непосредственно на цоколе залегает горизонт галечника и гравия (2-8 м) с песчаным заполнителем. Русловой элювий перекрыт песками (3-6 м), суглинками и супесями (5-6 м).

На Ангаро-Китойском междуречье с поверхности обычно залегают пески и супеси. Общая мощность отложений второй террасы 8-15 м.

Верхний и современные отделы. К верхнему и современному отделам отнесены аллювиальные отложения первой аккумулятивной надпойменной террасы незначительно развитой в долине р. Ангары и ее притоков. Высота террасы 4-8 м, цоколь залегает на 5-6 м ниже меженного уровня реки, непосредственно на юрских коренных породах залегают песчано-гравийно-галечниковые образования, перекрытые сверху песчано-супесчаными и торфистыми грунтами.

Современный отдел. Современные отложения делятся на аллювиальные и делювиально-эллювиальные. Аллювиальные образования слагают низкую и высокую пойму, русла и острова рек. В долине р. Ангары они имеют незначительное распространение и обычно развиты в узкой береговой полосе шириной до 200-300 м. Что же касается рек Иркут, Китой, Куды, Олхи и Ушаковки, то отложения поймы занимают почти целиком днища современных долин. Общая мощность аллювия достигает 12 м. Верхний горизонт пойменных отложений чаще всего сложен средне-мелкозернистыми песками, в значительной мере обогащенными глинистым материалом, мощностью 2-6 м. Нижний горизонт представлен 2-3 м слоем галечников. На переуглубленных участках долины р. Китой мощность нижнего горизонта, условно относимого к нижнему отделу, доходит до 45 м. Близкими к аллювиальным являются болотно-старичные отложения, развитые в пределах современных речных долин, где они слагают высохшие днища небольших старичных озер и болот. Представлены иловато-глинистыми осадками, богатыми органическими примесями и торфом. Мощность осадков не превышает 3 м. Русловые же образования сложены хорошо промытым валунно-гравийно-галечниковым материалом. Мощность руслового и островного аллювия обычно равна 4-7 м.

Эллювиально-делювиальные образования (субаэральные отложения) повсеместно развиты на водоразделах, склонах и в днищах падей. В пределах развития юрских пород элювиальные и эллювиально-делювиальные отложения представлены глинами, суглинками, песками, дресвой, щебенкой и галечником. Мощность указанных образований 2-45 м. Максимальная мощность характерна для террасированных склонов речных долин.

2.4. Тектонические особенности территории

Рассматриваемая в диссертации территория города с пригородными районами в крупном рассмотрении располагается на юго-восточной оконечности Иркутского угленосного бассейна, являющегося южной окраиной Сибирской платформы, непосредственно граничащей со складчатым поясом Восточного Саяна и Прибайкалья, тектоническая жизнь которых в разные геологические эпохи в значительной степени предопределила современную структуру бассейна.

Иркутский угленосный бассейн представляет собой сложную структуру, состоящую из целого ряда впадин, между которыми существуют перемычки,

явившиеся результатом разной интенсивности прогибания различных участков бассейна. Максимальному прогибанию подверглась область слияния Присаянской полосы бассейна с его Прибайкальской ветвью, где была образована Прииркутская впадина. Рассматриваемая городская территория располагается в наиболее прогнутой части Прииркутской впадины, поверхность которой на этом участке осложнена второстепенными структурами тектонического и эрозионного происхождения.

На исследованной площади, по данным колонкового бурения, фундаментом юрского структурного яруса служат карбонатные отложения нижнего кембрия, условно отнесенные к ангарской свите (рис. 2-8). По мнению исследователей Шурыгина Б.Л. (1969 г.), Винниченко М.Н. (1964 г.), Гурулева С.А. (1962 г.), структура юрских отложений во многих чертах зависит от морфологии доюрского рельефа и дифференцированного погружения ложа в период осадконакопления. Рассматриваемая территория представляет вытянутую в северо-западном направлении впадину, ось которой, несколько нагибаясь и погружаясь с широтного направления в северное, прослеживается от верхнего (в пределах толщи) течения р. Олхи до левобережья р. Иркут, где отмечается максимум прогиба впадины.

В поперечном разрезе впадина в пределах площади имеет резко ассиметричную форму. Юго-западное крыло ее круто воздымается от области прогиба на юго-запад. Оно сложено последовательно выклинивающимися в сторону контакта с нижним кембрием образованиями черемховской и присаянской свит, падающих под углом $15-20^\circ$. На этом участке юрские отложения повторяют флексуру подстилающих кембрийских пород, имея при этом значительно меньшие углы падения. Мощность юрских отложений здесь по сравнению с внутренними частями площади довольно резко сокращается до полного выклинивания верхних частей разреза.

Центральная часть территории, где крыло впадины осложнено второстепенной структурой типа брахиоантиклинали. Крылья этой структуры осложнены мелкими неровностями рельефа эрозионного происхождения, принципиально не влияя на общую картину структуры площади. Эти структуры имеют закономерное погружение продольного профиля в основном, к северо-западу от осевой поверхности брахиоантиклинали и являются, по-видимому, древними катаклинальными речными руслами, стекающими с поверхности антиклинальной структуры. При этом имела место видимо и приуроченность отдельных древних рек к дизъюнктивным нарушениям, рассекающим подстилающие породы и погребенные под мощным чехлом юрских аллювиальных отложений. В целом же эрозионные неровности создают очень плавные и незначительные по амплитуде складки в юрских отложениях.

Таким образом, при общем северо-восточном простирании основной части структуры, созданной движениями с юго-востока, движение масс с юга исказило форму поднятия, развернув юго-западный конец его под 90° на северо-запад. Антиклинальная складка при ширине в среднем 10 км протягивается с юго-запада, от долины р. Олха на северо-восток до долины р. Ушаковка на 20

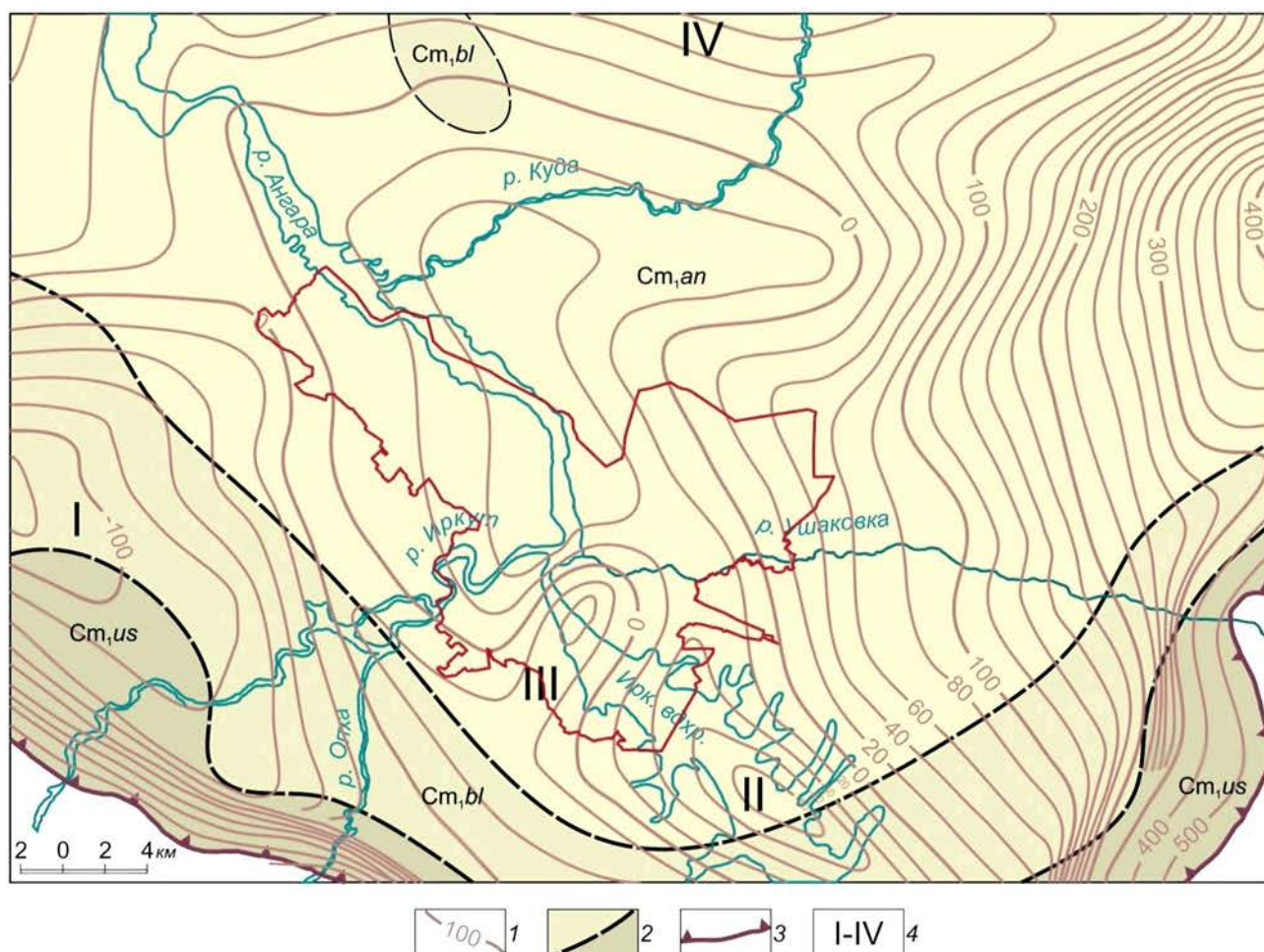


Рис. 2-8. Схема рельефа палеозойского фундамента в границах города Иркутска (часть Прииркутской впадины) [по мат. Рыбакова В.Г. (1999 г.), Шурыгина Б.Л. (1969 г.)]
 1 – изогипсы рельефа; 2 – стратиграфические границы; 3 – граница Прииркутской впадины; 4 – структуры ~ Еловская впадина (1), Щукинская впадина (2), Иркутское поднятие (3), Кудинская антиклиналь (4)

км. Ядро антиклинали, вскрытое под четвертичными отложениями непосредственно в Иркутске (скв. ИО-1, в отчете Шурыгина Б.Л. с соавт. за 1969 г.), сложено отложениями верхней подсвиты присаянской свиты. От ядра структуры породы падают под разными углами. Наибольшие углы падения зафиксированы на северо-западном ее крыле, которое слагают породы нижней подсвиты кудинской свиты, падающие под углом 5° , и иногда $10-12^\circ$ на северо-запад. Значительно положе, почти горизонтально, залегают породы на юго-восточном крыле. Здесь от ядра складки последовательно сменяют друг друга отложения нижней и верхней подсвит кудинской свиты. По длинной оси наблюдается также некоторая асимметрия складки, подчеркнутая разными углами наклона шарнира в северо-восточном и юго-западном направлениях. Вблизи долины р. Ушаковки отмечаются несколько более крутое погружение шарнира.

В юго-западном направлении шарнир складки погружается очень плавно. Отдельные элементы залегания фиксируют здесь углы падения в среднем $3-5^\circ$ и лишь в переклиальной части складки, непосредственно у воды прогиба, углы увеличиваются до $8-12^\circ$.

Таким образом, ложе юрской осадочной толщи представляет собой эрозионно-тектоническую структуру, заполнение которой непрерывно продолжалось в течение черемховской, присаянской и кудинских эпох. Причем, образование юрских осадков происходило на фоне общего погружения. Последнее в юрское время периодически сопровождалось усилением положительных движений в горных сооружениях, причем неравнозначным ни по силе, ни по времени проявления. Эти поднятия выражались в появлении на разных этапах юрской системы конгломератов и горизонта грубозернистых песчаников, а промежутки между ними характеризовались довольно спокойной обстановкой и знаменовались отложениями глинисто-углистых образований.

В последующие этапы геологической истории тектонические движения были весьма интенсивны и начались они в основном, во второй половине третичного периода и продолжают до настоящего времени. Новейшими тектоническими движениями была окончательно сформирована структура Иркутского бассейна и завершено сооружение горного обрамления. Направление складчатости в кайнозойский период было то же, что и в мезозойскую эпоху и это совпадение приводит к значительному усилению складок, сформированных предшествующими тектоническими этапами. В пределах площади кайнозойский этап особенно четко отразился в дальнейшем прогибании флексуры, являющейся юго-западным крылом впадины.

В целом на территории кайнозойский этап тектогенеза проявился преимущественно в образовании незначительных по протяженности и амплитуде складок, достигающих длины 10 м и амплитуды до 1 м. Такая складчатость отмечена в обнажениях нижней подсвиты кудинской свиты на левом крутом берегу р. Иркута [Гурылев, 1962].

История долины р. Ангары также является свидетелем интенсивно развивающихся тектонических движений земной коры в кайнозойское время. В пределах рассматриваемой площади в ее долине имеется только пять террас с наивысшим уровнем 35-45 м, в то время как среднем течении р. Ангары насчитывается до 9 террас. Это обстоятельство объясняют блужданием истоков реки и соответствующим размывом террас, вызванное неравномерным поднятием северной и южной частей Прииркутского хребта в четвертичное время (в отч. Сироткина Л.А. и др., 1964 г.). Неравномерность поднятия Прииркутского хребта достаточно объясняет отсутствие террас на левом берегу р. Ангары, на всем участке ее долины от истока до г. Иркутска.

В пределах рассматриваемой территории водный режим р. Ангары полностью зарегулирован от оз. Байкал, поэтому здесь изменение уровня реки, фиксируемое образованием эрозионных и аккумулятивных террас наиболее чувствительно к колебаниям земной коры. Все террасы р. Ангары, начиная от третьей и выше, являются эрозионно-аккумулятивными. В этом случае в начале образования каждой из этих террас происходило поднятие участка, соответствующее высоте цокольного уступа, затем наступило опускание, амплитуда которого соответствует мощности образовавшегося аллювия.

Из геологической карты (рис. 2-5) по четвертичным отложениям видно, что аллювиальные поверхности III и IV террас р. Ушаковки и р. Ангары местами почти сливаются. Это указывает на значительные амплитуды неравномерных вертикальных движений земной коры. Таким образом, все выше сказанное свидетельствует о значительной по интенсивности тектонической жизни в кайнозойской период.

В средней и нижней частях долины р. Иркута фиксируется по некоторым признакам наличие дизъюнктивного нарушения при мощности юрских отложений на этом участке до 450-500 м. Зона нарушения приурочена к долине р. Иркут и имеет линейно вытянутую в северо-восточном направлении форму (рис. 2-9). Природа нарушения в силу небольшого количества фактов, не достаточно

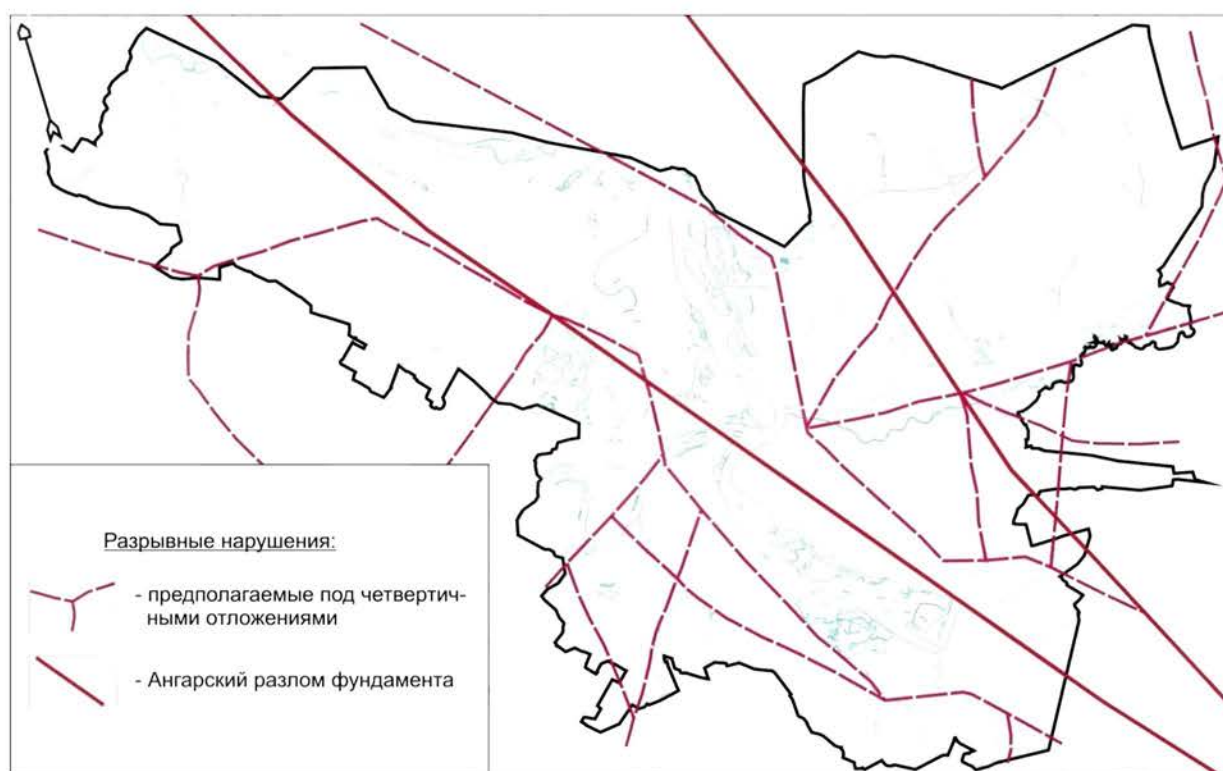


Рис. 2-9. Схема разломных зон в районе г. Иркутска [по мат. Пермякова С.А., (1985 г.); Рыбакова В.Г. (1999 г.)]

ясна, но предполагают, что заложено оно было в доюрское время в результате тектонических движений в Прибайкалье, чему свидетельствует простираение ослабленной зоны [75]. Последующие мезозойская и кайнозойская эпохи тектогенеза выразились в омолаживании структуры и создании в юре ослабленной зоны, способствующей усиленной циркуляции вод. По аномальным значениям минерализации вод, отмеченным в долине р. Ангары, в створе плотины Иркутской ГЭС на глубине 23 м и в г. Иркутске по скважинам при проведении съемочных работ (скв. И-1), объясняется наличие крупного разлома. Но геологических работ, уточнивших бы наличие таких структур на территории, проведено не было. Последние исследования регионального масштаба датируются 1985 г., которые продолжились только геологическим доизучением описываемых площадей и были закончены в 1999 г.

ГЛАВА 3. РАСПРОСТРАНЕНИЕ И УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

3.1. Стратификация водоносных горизонтов и комплексов

По принятой в настоящее время схеме гидрогеологического районирования площадь, занимаемая г. Иркутском и его окрестностями, расположена в пределах центральной части Прииркутской впадины Иркутского артезианского бассейна, впервые выделенной Деевым Ю.П. (1949 г.). По существу впадина представляет собой артезианский бассейн третьего порядка, входящего в состав сложного Ангара-Ленского бассейна [Толстихин, 1957]. В структурном отношении территория г. Иркутска и его окрестностей рассматривается далее как часть Прииркутской впадины.

Гидрогеологическое районирование Иркутского артезианского бассейна выполнено группой авторов в 1959 г. (Ломоносов И.С., Пиннекер Е.В., Угланов И.И.). Выделение гидрогеологических районов было произведено по тектоническому признаку, возрасту и мощности пород. Авторы выделили три района: платформенную часть бассейна, предгорный прогиб и краевую часть бассейна. Предгорный прогиб состоит из нескольких относительно изолированных мелких впадин, из которых самой крупной является Прииркутская впадина. Впадину (рис. 3-1) в гидрогеологическом отношении относят к подрайону, который представляет собой сравнительно небольшой (6000 км^2) артезианский бассейн третьего порядка. Характеризуя территорию города в гидрогеологическом отношении, необходимо для целостности понимания остановиться на представлении условий Прииркутской впадины в общем виде. Основные закономерности распространения, залегания и формирования подземных вод этой структуры напрямую зависят от природно-геологических факторов - геоструктурных, тектонических, орографических и литологических.

Положение, занимаемое впадиной в предгорном прогибе, сказалось на характере изолированности артезианского бассейна. В полной мере обособленность свойственна лишь нижней части гидрогеологического разреза юрских отложений на левобережье Прииркутской впадины. Верх разреза, также как и вся юрская толща на правобережной части р. Ангары, отличается хорошей проточностью. Все это говорит о том, что характер залегания водовмещающих пород на право- и левобережье впадины существенно различны. В первом случае наблюдается постепенное погружение от окраин к внутренней области впадины, во втором – суммарное погружение почти целиком реализуется в узкой полосе вдоль контакта юрских и кембрийских пород. Именно структурные особенности впадины совместно с орографической неоднородностью обусловили асимметричность артезианского бассейна, которая, в конечном итоге выразилась в различии гидрогеологических условий на лево- и правобережье впадины. Все это выразилось в изменении минерализации, химического состава подземных вод и их ресурсов.

Рассматриваемая площадь Прииркутской впадины при своих сравнительно небольших размерах является артезианским бассейном с четко выраженной гидродинамической и гидрохимической зональностью, характеризуется слож-

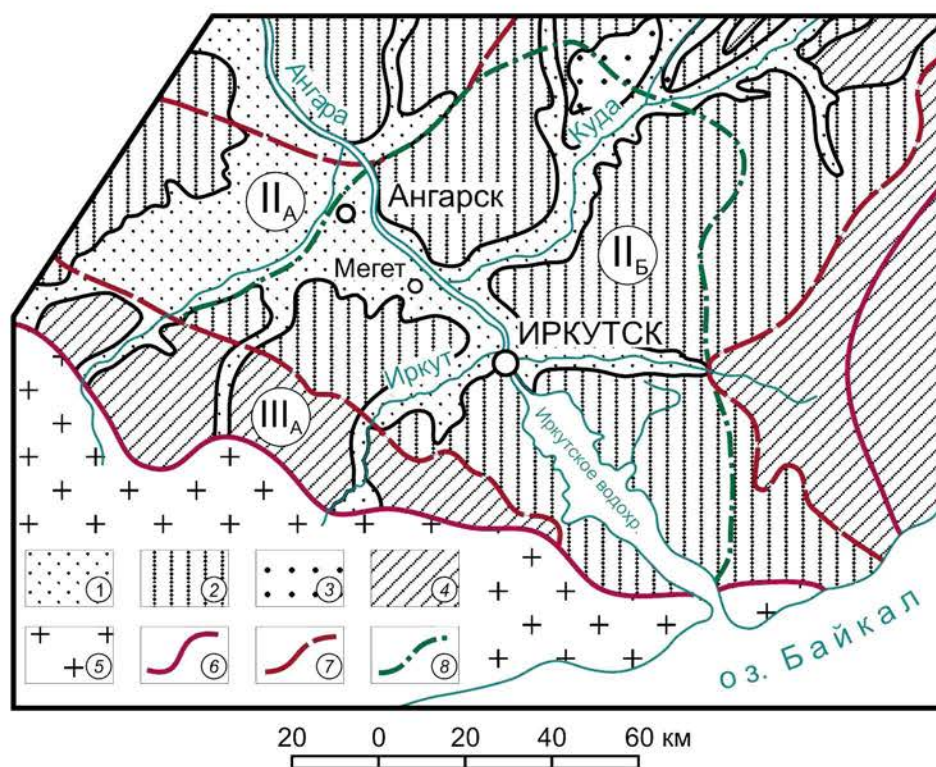


Рис. 3-1. Схема гидрогеологического районирования Иркутского бассейна [по мат. Ломоносов и др., 1959; Карта гидрогеологического районирования территории РФ, 2008 г.]

II – район предгорного прогиба бассейна с подрайонами с II_A – подземные воды в юрских и четвертичных отложениях Присянской части прогиба; II_Б – подземные воды в мощной толще юрских отложений Прииркутской впадины. III – район южной краевой части бассейна с подземными водами в отложениях кембрия с подрайоном (III_A на рис.) Присяня. 1 – пески и галечники четвертичного возраста; 2 – песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты, угли юрского возраста; 3 – пески, галечники неогенового возраста; 4 – карбонаты и терригенная толща кембрийского возраста; 6 – граница Иркутского артезианского бассейна; 7 – граница гидрогеологического района; 8 – граница гидрогеологического подрайона.

ными гидрогеологическими условиями. Сложность условий зависит, в свою очередь, от пестроты литолого-фациального состава юрских отложений. Из всех литологических разновидностей бесспорным водоупором можно признать лишь аргиллиты, всегда водоносными – конгломераты, гравелиты и крупнозернистые песчаники. Остальные разновидности, - от среднезернистых песчаников до алевролитов, - могут быть либо обводненными, либо играть роль относительного водоупора в зависимости от степени их трещиноватости. Подземные воды рассматриваемой территории приурочены в основном к юрским и четвертичным отложениям, где имеют относительно небольшое содержание солей и соответственно низкую минерализацию. Подстилающие кембрийские отложения повсеместно залегают на глубине 200-600 м и содержат уже солоноватые и соленые воды.

Стратификация водоносных подразделений рассматриваемой территории была проведена впервые в 1958 г. для Прииркутской впадины Е.В. Пиннекером, затем не раз рассматривалась и практически не видоизменялась в работах исследователей Пугача С.Л. (1960 г.), Трофимука П.И. (1963 г.), Сироткина Л.А. (1964 г.), Шенькмана Б.М. (1966, 1969, 1983 гг.), Лумпова И.А. (1991 г.), Блохина Ю.И. (1999 г.) годами позднее. Для внутреннего поля впадины (область рассматриваемой территории), где юрские породы залегают практически горизонтально, наблюдается параллельность гидрогеологических и стратиграфических границ. Периферические участки бассейна характеризуются же пересечением гидрогеологических границ с стратиграфическими. Все это приводит к тому, что водовмещающие породы в области питания и напора одного и того же водоносного комплекса могут относиться к различным свитам. Учитывая все вышесказанное, для рассматриваемой территории г. Иркутска принята следующая схема гидрогеологической стратификации.

Схема гидрогеологической стратификации изучаемой территории:

Водоносные горизонты аллювиальных четвертичных отложений:

1. Грунтовый водоносный горизонт современных и верхнечетвертичных аллювиальных отложений поймы и первой надпойменной террасы ($alQ_{IV}+alQ_{III-IV}$);

2. Грунтовый водоносный горизонт верхнечетвертичных аллювиальных отложений второй надпойменной террасы (alQ_{III});

3. Водоносный горизонт средне-верхнечетвертичных аллювиальных отложений третьей надпойменной террасы (alQ_{II-III});

Юрские водоносные горизонты и комплексы:

4. Подвешенный грунтовый водоносный комплекс преимущественно отложений присаянской свиты (J_2^3);

5. Межпластовый грунтовый водоносный горизонт преимущественно отложений присаянской свиты (J_2^2);

6. Напорный водоносный горизонт отложений присаянской свиты (J_2^1);

7. Водоносные комплексы отложений черемховской свиты (J_{1-2}^{1-3});

Кембрийские породы фундамента:

8. Напорный водоносный комплекс нижнекембрийских отложений ангарской свиты (ϵ_{1an}).

Учитывая достаточно большое количество гидрогеологических подразделений для площади, занимаемой городом с окрестностями, рассматриваемую глубину по разрезу в данном исследовании ограничим до конца зоны пресных вод. В эту часть гидрогеологического разреза вошли подразделения юрских и четвертичных отложений, наличие которых показано на гидрогеологической карте (рис. 3-2), которые в описательной части подробно рассматриваются далее. Общие гидродинамические условия по исследуемым подразделениям представлены на рис. 3-3.

СХЕМАТИЧЕСКАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

(КАРТА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ)

Составлена с использованием материалов топографических и гидрогеологических работ Тетова Н.А. (1936 г.); Путова С.Л., Бондаренко Л.Н. (1960 г.); Трофимук Л.И. (1963 г.); Сорокина Л.А., Шурликова Б.М. (1964 г.); Шурликова Б.Л., Каури В.П., Гинина В.В. (1969 г.); Бондаренко Л.Н., Бондаренко Е.М., Преподского К.К. (1972 г.); Гинина В.В., Путова И.А. (1975 г.); Перелюва С.А. с соавт. (1980 г.); Путова И.А. (1991 г.); Рыбакова В.Г. с соавт. (1999 г.); Болова Ю.И. с соавт. (1999 г.)

МАСШТАБ 1:25000

25 км

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

aQ_1 Аллювиальный водосносный поранит современных четвертичных отложений. Песок, гравий, галька

aQ_2 Аллювиальный водосносный поранит первой надпойменной террасы. Песок, гравий, галька

aQ_3 Аллювиальный водосносный поранит второй надпойменной террасы. Песок, гравий, галька

aQ_4 Аллювиальный водосносный поранит третьей надпойменной террасы. Песок, гравий, галька

J_{kld} Среднетеррасный водосносный поранит неогеновой надпойменной террасы. Песчаные, алевролиты

J_{kld}^* Неполноценный среднетеррасный водосносный поранит неогеновой надпойменной террасы. Песчаные, алевролиты

J_{kld}^{**} Грунтовый водосносный комплекс неогеновой надпойменной террасы. Песчаные, алевролиты, угли

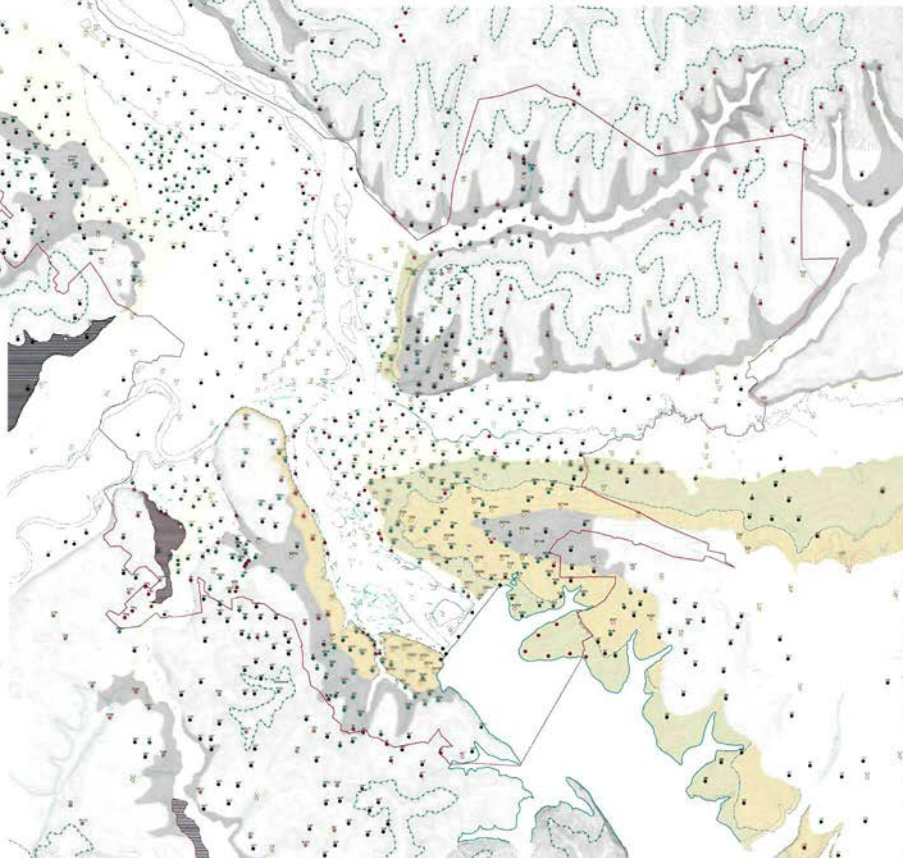
Q_{kld}^{***} Денудационный среднетеррасный водосносный поранит. Суглики, тяжелые, глина

Q_{kld}^{****} Водосносный комплекс четвертой надпойменной террасы. Суглики, тяжелые, глина

Q_{kld}^{*****} Контуры распространения обводнения торфяников

Q_{kld}^{*****} Ихностроение и исторические водоразделы. Источники - фоновые дельты, артезианские скважины, организации, переоборудованные водоразделы до 2005-2018 гг.

Q_{kld}^{*****} Граница породной территории



СХЕМАТИЧЕСКАЯ ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ КАРТА

Геологическая основа составлена с использованием материалов геологических и гидрогеологических работ Титова Н.А. (1936 г.); Путича С.Л., Бондаренко П.Н. (1960 г.); Трофименко П.И. (1963 г.); Сероткина Л.А., Шурыгина Б.П., Шинькина Б.М. (1964 г.); Шурыгина Б.П., Кокуры В.П., Гинина В.В. (1969 г.); Бондаренко Л.И., Бондаренко Е.М., Протаскина К.К. (1972 г.); Гинина В.В., Лунцова И.А. (1975 г.); Пармеева С.А. с соавт. (1985 г.); Лунцова И.А. (1991 г.); Рыбачева В.Г. с соавт. (1999 г.); Волкина Ю.И. с соавт. (1999 г.).

МАСШТАБ 1:25000

1:25000

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- 
 Контур распространения карстовых депрессий

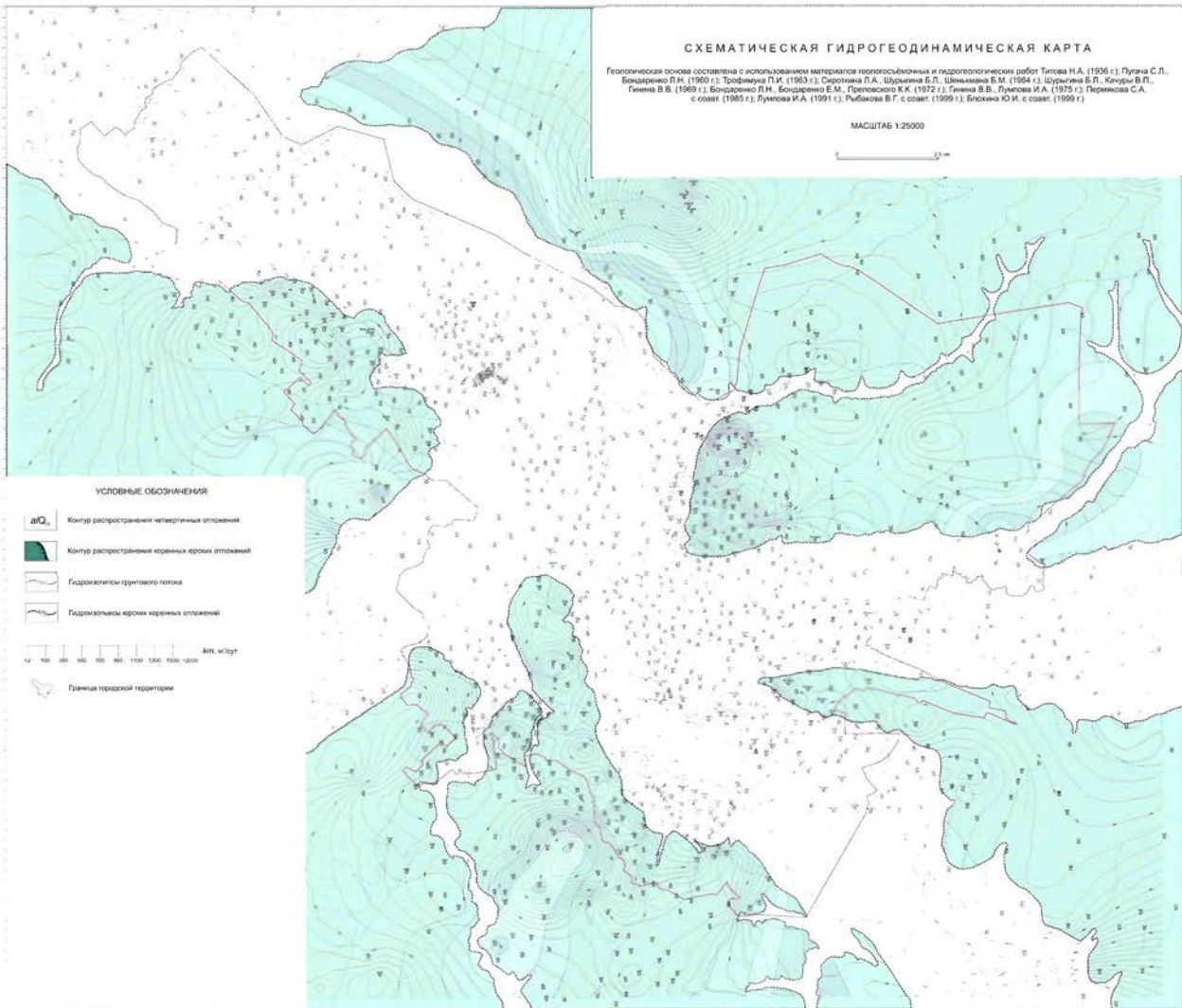
 Контур распространения карстовых депрессий

 Гидрогеологический грунтовой пол

 Гидрогеологический карстовый депрессия

 0 200 400 600 800 1000 1200 м

 Граница городской территории



3.2. Общая характеристика водоносных горизонтов и комплексов

Водоносные горизонты аллювиальных четвертичных отложений

1. Грунтовый водоносный горизонт современных и верхнечетвертичных аллювиальных отложений поймы и первой надпойменной террасы ($Q_{IV} + Q_{III-IV}$)

Отложения поймы и первой надпойменной террасы содержат по существу своему единый грунтовый водоносный горизонт. Это объясняется тем, что цоколь террасы, сложенный коренными породами юрского возраста, повсеместно залегает на отметках ниже уровня основных рек района. По сравнению с пойменной частью горизонта, отложения первой надпойменной террасы характеризуются небольшим распространением по площади. Различаются эти два грунтовых водоносных горизонта преимущественно глубиной залегания уровня подземных вод, величина которой иногда достигает 5-6 м. В связи с вышеуказанными сведениями характеристика двух водоносных горизонтов дается комплексно.

Водоносный горизонт сравнительно хорошо изучен в долинах рек Ангары, Иркута и Ушаковки в процессе комплексных гидрогеологических исследований прошлого столетия, а также рассматривается в работах [Пиннекер, 1958, 1962, 1976; Ткачук, 1959; Шенькман, 1966-69, 1995, 1997]. Пространственно горизонт прослеживается по днищам рр. Ангары, Иркута, Ушаковки с их притоками (Кая, Бол. Еловка и др., рис. 3-4).

В районе города Иркутска по огромному количеству выполненных гранулометрических анализов отмечается, что водовмещающие породы представлены гравийно-галечниковыми, реже валунно-галечниковыми отложениями с песчаным заполнителем. Гранулометрический состав заполнителя существенно варьируется: на островных и прирусловых участках, где аллювий хорошо промыт, заполнитель состоит из средне-крупнозернистого песка. В направлении к коренным склонам долины, в местах примыкания к уступам среднего комплекса террас, на старичных и устьевых участках в составе заполнителя повышается содержание мелкозернистых, пылеватых и глинистых фракций. В непосредственной близости к ним прослеживается зона, где вышеупомянутые фракции составляют одну треть заполнителя.

Водовмещающие гравийно-галечниковые и валунно-галечниковые отложения с поверхности перекрыты пойменным аллювием, представленным в большинстве анализов мелкозернистым песком, реже иловатой супесью. В местах сопряжения с коренным склоном, уступами среднего комплекса террас, на устьевых и старичных участках с поверхности или близко к ней залегают торфяные отложения мощностью до 2-2,5 м. Торфяники развиты в долинах мелких рек (Каи, притоков Китоля и др.), где они перекрывают пойму. По гранулометрическому составу пески характеризуются преимущественным содержанием мелкозернистой фракции с высокой долей пылевато-глинистой составляющей.

Мощность перекрывающих аллювиальных отложений равна 2-4 м, увеличиваясь незначительно у тыльного шва террас за счет делювиального сноса со стороны коренного склона долины. Водоносный горизонт обладает мощнос-

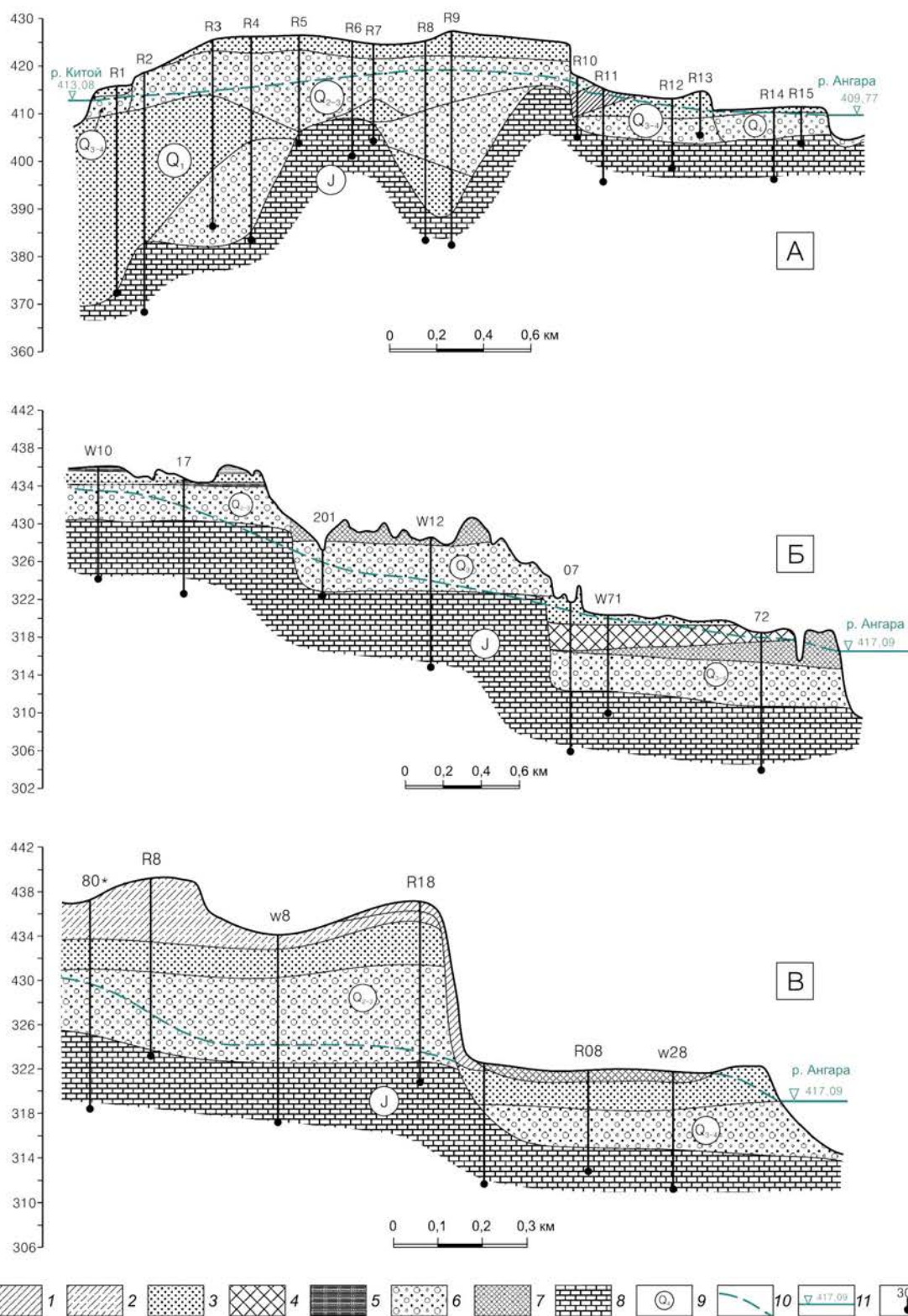


Рис. 3-4. Геолого-гидрогеологические разрезы по характерным участкам грунтового водоносного горизонта поймы и первой надпойменной террасы
 А – участок Китой-Ангарского междуречья; Б – левый берег р. Ангара (до п. Мегет); В – левый берег р. Ангара (ст. Батарейная)
 1 – суглинки; 2- супесь; 3 – песок; 4 – супесь илистая; 5 – глина; 6 – галечники; 7 – песок иловатый; 8 – песчаники; 9 – геол. индекс; 10 – уровень подземных вод; 11 – уровень поверхностных вод; 12 - скважина

тью от 4 до 7 м. В долинах рек Ангары, Иркута и Ушаковки мощность горизонта составляет в среднем 4,5-5,5 м.

Фильтрационные характеристики горизонта зависят от положения участка в геоморфологическом отношении. Для участков, расположенных в прирусловой зоне и на островах, решающее значение имеет расстояние скважины до уреза воды в реке. Такая закономерность сохраняется и в долинах крупных рек, и в более мелких.

Гидродинамические характеристики обводненного горизонта и его водообильность отличаются изменчивостью различных параметров – удельного дебита, коэффициента фильтрации, водопроницаемости. Анализ фактического материала показал изменение величин удельного дебита, коэффициента фильтрации и других величин по площади г. Иркутска и его окрестности (табл. 3-1). Прослеживается четкая закономерность изменения количественных характеристик горизонта по площади. Наиболее высокие значения удельного дебита скважин прослеживаются в узкой прибрежной полосе, наиболее низкие – на устьевых участках, у основания уступов среднего комплекса террас, второй надпойменной террасы и коренных склонов долин. Между двумя крайними значениями наблюдается постепенное изменение значений удельного дебита. Аналогичный характер распределения имеют другие характеристики – коэффициент фильтрации и водопроницаемость пласта. Помимо резких различий, свойственных выделенным участкам, изменение характеристик происходит и внутри участков, однако внутренние изменения менее контрастны.

В целом для рассматриваемого водоносного горизонта величина удельного дебита изменяется от 1 до 4 л/сек, коэффициент водопроницаемости пласта 160 до 350 м²/сутки, которые объясняются относительной устойчивостью средних величин по рассматриваемому горизонту.

Важным моментом в качественной характеристике подземных вод четвертичных образований является их однотипность по солевому составу и величине минерализации. Химический состав подземных вод четвертичных отложений является в разной степени унаследованным от вод юрских отложений благодаря разгрузки последних в реки, проходящую через толщу аллювия.

По химическому составу подземные воды аллювиальных отложений поймы и первой надпойменной террасы преимущественно гидрокарбонатные кальциевые. Изредка встречаются воды смешанного состава, еще реже встречаются воды, в которых преобладает магний или натрий, а среди анионов – хлор. Минерализация вод колеблется от 200 до 400 мг/л, отражая устойчивые значения для всего горизонта в целом. Превышение минерализации от этих значений объясняется близостью плотной городской застройки с отсутствием канализационных систем (пригороды Иркутска) и утечками из несущих инженерных систем. На таких участках минерализация повышается до 1-2 г/л. Вместе с повышением минерализации увеличивается содержание хлора, сульфат-иона, натрия и некоторых других элементов. Наибольшие значения минерализации вод отмечены в микрорайоне Новоленино, в районе предместья Марата и Рабочее. Повышение минерализации подземных вод четвертичных отложений происходит также в результате подтока соленых хлоридных натриевых вод из

Таблица 3-1

Водообильность и фильтрационные свойства аллювиальных отложений
поймы и первой надпойменной террасы

№ скважины	Местоположение скважины	Глубина скважины, м	Мощность водоносного горизонта, м	Удельный дебит, л/с	Коэф. филь-трации, м/сут	Водопроницаемость, м ² /сут
609	Долина р. Ангары, в 220 м от уреза, черта города	74	3,7	25,2	1040	3850
398	Долина р. Ангары, в 560 м от уреза, черта города	24	6,45	13	210	1390
376	Долина р. Ангары, в 820 м от уреза, черта города	47	3,95	10,9	309	1220
880	Долина р. Ангары, черта города, на устье р. Иркут	37	4,26	1,4	45	192
721	Долина р. Ангары, черта города, на устье р. Иркут	18	2,7	0,36	18	51
386	Долина р. Ангары, черта города, в основании уступа II террасы	19	6,6	2,3	54	356
383	Долина р. Ангары, черта города, в основании уступа II террасы	22	4	0,07	2,2	9
395	Долина р. Ангары, черта города, в основании уступа III террасы	12	4,5	1,8	51	230
414	Долина р. Ангары, черта города, в основании уступа III террасы	24	3,6	0,5	14	50
711	Долина р. Ангары, черта города, в основании коренного склона	56	6,63	1,1	19,3	128
253	Долина р. Иркут, п. Смоленщина, в 50 м от уреза воды	22	4,17	4	89	370
A12	Долина р. Иркут, п. Смоленщина, в 120 м от уреза воды	36	5,5	6,93	126	695
A28	Долина р. Иркут, п. Смоленщина, в 250 м от уреза воды	45	4,4	4,14	118	520
A15	Долина р. Иркут, п. Максимовщина, в 420 м от уреза воды	37	4,5	3,75	89	400
A21	Долина р. Иркут, п. Максимовщина, в 560 м от уреза воды	47	3,5	1,57	71	241
A16	п. Смоленщина, в сторону водораздела р. Иркут и р. Кая	71	5,02	2,1	47	236
A11	Черта города, бывш. Мельниково, устье р. Кая	35	3,6	0,62	18,9	67
A4	Черта города, мкр. Синюшина гора, в основ. коренного склона	45	4,8	0,76	22,6	109
A22	Долина р. Ушаковки, в 730 м от уреза воды, черта города	49	4,22	1,5	39	165
A27	Долина р. Ушаковки, в 1200 м от уреза воды, черта города	35	3,1	2,36	50	155

коренных пород, что отмечено в отчетах Сироткина Л.А. (1964 г.) и Качуры В.П. (1967 г.). Температура подземных вод отмечается в пределах 3-4° и является устойчивой для большинства водопунктов, опробованных в долинах рек Иркутка и Ангары.

Водоносный горизонт поймы и первой надпойменной террасы характеризуется залеганием коренных пород юры на 5-6 метров ниже, чем меженный уровень реки Ангары. Вследствие этого подземные воды этих отложений гидравлически взаимосвязаны. В прибрежной зоне питание водоносного горизонта осуществляется в основном за счет речных вод (инфильтрация во время подъема уровня в реке). После сооружения Иркутской ГЭС влияние этого фактора сведено до минимума, но имеет место питание водоносного горизонта за счет обходной фильтрации в результате подпора на правобережном участке водохранилища.

2. Грунтовый водоносный горизонт верхнечетвертичных аллювиальных отложений второй надпойменной террасы (Q_{III})

Данный водоносный горизонт имеет незначительное распространение на исследуемой территории. В долине реки Ангары водоносный горизонт занимает небольшую площадь на мысовом окончании Ангаро-Ушаковского междуречья и прослеживается на левобережье Ангары прерывающейся полосой вдоль уступа третьей надпойменной террасы. Наиболее полно водоносный горизонт изучен в долине р. Ангары, особенно на территории Иркутска.

Водовмещающие породы представлены гравийно-галечниковыми и галечниковыми образованиями с песчаным и супесчаным заполнителем. По сравнению с предыдущим водоносным горизонтом, в составе заполнителя преобладают мелкопесчаные, пылеватые и глинистые фракции. Гравийно-галечниковые отложения перекрыты 7-16 метровой толщиной часто переслаивающихся песков, иловатой супесью, легкой супесью. У тыловой закраины террасы пойменный аллювий часто перекрыт продуктами делювиального сноса. Особенности гранулометрического состава объясняется сравнительно небольшая обводненность отложений второй надпойменной террасы. Удельный дебит скважин не превышает 4 м и обычно равен 1-1,5 л/сек. Средние значения коэффициента фильтрации и водопроводимости пласта соответственно равны 30-70 м/сут и 120-500 м²/сутки. Обводненность гравийно-галечниковых отложений по площади более равномерна. Отсутствуют участки с аномально высоким удельным дебитом скважин. Наиболее неустойчивым параметром является мощность водоносного горизонта – 2-7 м, закономерность изменения которого хорошо видна на прилагаемом разрезе (рис. 3-5). Максимальная мощность прослеживается вдоль тыльной закраины террасы. По направлению к руслу реки она постепенно уменьшается и в полосе вдоль бровки террасы аллювиальные образования могут быть вообще сдrenированы. Глубина залегания водоносного горизонта колеблется от 7 до 15 м.

По химическому составу подземные воды гидрокарбонатные кальциевые и магниевые-кальциевые с минерализацией 300-500 мг/л. В пределах территории гг. Иркутска и Ангарска водоносный горизонт сильно загрязнен промышленны-

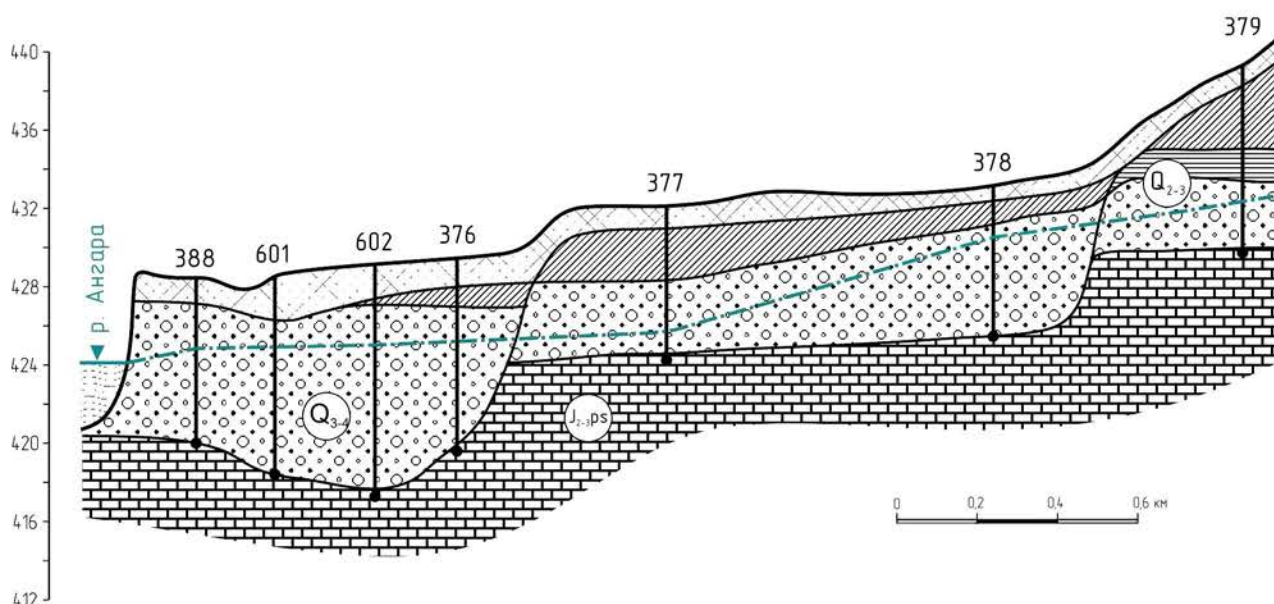


Рис. 3-5. Геолого-гидрогеологический разрез района окончания Ангаро-Ушаковского междуречья (по мат. Шенькман, 2011 [94]).
Условные обозначения на рис. 3-3

ми и канализационными стоками, что обусловило повышение минерализации воды до 1,4 г/л. На территории сельских населенных пунктов повсеместно отмечается фекально-бактериологическое загрязнение подземных вод, фиксируемое по высоким значениям нитрит- и нитрат-ионов, аммиака, уголекислоты и окисляемости, небольшому содержанию растворенного кислорода. Температура воды обычно равна 3-4,5°.

Питание водоносного горизонта происходит при инфильтрации дождевых и талых вод. Не меньшую роль в восполнении запасов играет перелив воды из юрских пород, в которые врезана терраса. Это хорошо подтверждается на территории с затрудненными условиями питания (сам город Иркутск). Исследования Филюка А.Г. (1959 г.), Шенькмана Б.М. (1978 г.), Пиннекера Е.В. (1989 г.) показывают, что в летнее время повышение уровня грунтовых вод юрских отложений сопровождается почти синхронным повышением уровня воды в аллювиальных отложениях второй надпойменной террасы.

Гидравлическая взаимосвязь с другими водоносными горизонтами имеется, но является односторонней. Со стороны коренных пород имеет место лишь боковой подток вод. Движение подземных вод в отложениях второй надпойменной террасы происходит от тыльной закраины к бровке, где осуществляется перелив воды в отложения поймы и первой надпойменной террасы. В тех случаях, когда бровка второй надпойменной террасы морфологически хорошо выражена, подземные воды подходят близко к дневной поверхности, вызывая заболачивание местности вдоль уступа террасы (район Новоленино в г. Иркутске). На мысовых участках Иркут-Олхинского и Ангаро-Ушаковского водоразделов наблюдается движение воды в виде радиального потока. Гидравлическая связь с поверхностными водами отсутствует.

3. Водоносный горизонт средне-верхнечетвертичных аллювиальных отложений третьей надпойменной террасы (Q_{II-III})

Водоносный горизонт прослеживается на правобережье Иркутского водохранилища, массовом окончании Ангаро-Ушаковского и Ангаро-Китойского междуречья, в долине р. Иркут, на правом берегу р. Ангары от пос. Новоленино до г. Ангарска и в долине р. Куды (рис. 3-2). Повсеместно он примыкает к коренному склону долин рек, а на ограниченных участках - к цоколю высокого комплекса террас. Водоносный горизонт занимает значительные площади, протягиваясь широкой полосой (2-4 км) в долинах рек Ангары и Куды. Цоколь террасы сложен обычно трещиноватыми песчаниками и приподнят над уровнем воды в реке на 6-10 м.

На всей площади распространения водоносного горизонта водовмещающие породы представлены валунно-галечниковыми отложениями с песчаным заполнителем. Изменения гранулометрического состава отложений свойственны те же закономерности, подробное описание которых приводилось ниже. Гравийно-галечниковые образования перекрыты делювиальными суглинками, мощность которых у тылового шва террасы изменяется от 15-20 (левобережье Ушаковки, Иркуты и Ангары) до 30-45 м (правобережье Иркутского водохранилища). К бровке мощность суглинков уменьшается до 3 м (рис. 3-3). На левобережье долины р. Ангары между ст. Батарейная и устьем р. Китоя суглинки почти замещены супесью и песком с одновременным уменьшением мощности перекрывающей толщи до 3-8 м.

В зависимости от характера питания водоносный горизонт в отложениях третьей надпойменной террасы подразделяется на три участка.

а) Мысовой участок Ангаро-Китойского междуречья (рис. 3_4). Кровля водовмещающих пород здесь хорошо водопроницаема, поэтому основным источником питания является инфильтрация атмосферных осадков на уровень водоносного горизонта, что хорошо подтверждается данными режимных наблюдений за колебанием уровня воды. Мощность водоносного горизонта зависит от характера поверхности подстилающих коренных пород. На местах переуглублений она увеличивается до 25 м, обычно равняясь 5-9 м (табл. 3-2). Вблизи цокольного уступа террасы водоносный горизонт, как правило, выклинивается.

Глубина залегания подземных вод определяется рельефом местности и изменяется от 5 до 10 м. В районе Суховского болота подземные воды приобретают напор, обуславливающий развитием торфяно-илистых грунтов. Обводненность гравийно-галечниковых отложений высокая, но характеризуется значительной изменчивостью. Удельный дебит скважин выше 1 л/сек, увеличиваясь иногда до 15 л/сек. Наиболее часто встречаемые величины 2-5 л/сек. Коэффициент фильтрации колеблется в пределах 30-330 м/сутки, водопроницаемость пласта изменяется от 160 до 1700 м²/сутки.

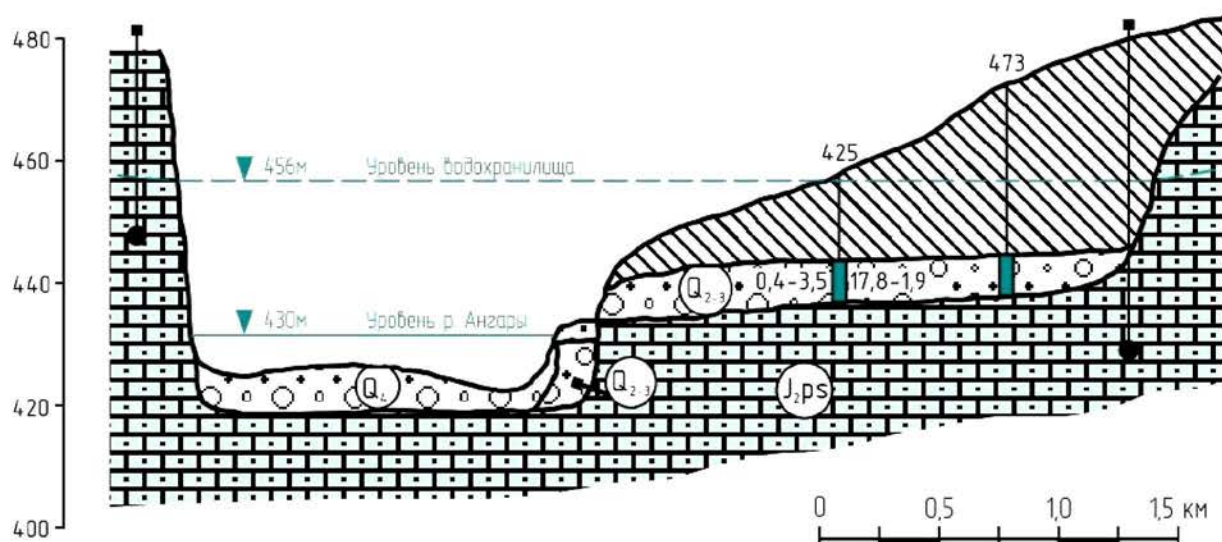
Таблица 3-2

Водообильность и фильтрационные свойства аллювиальных образований третьей надпойменной террасы

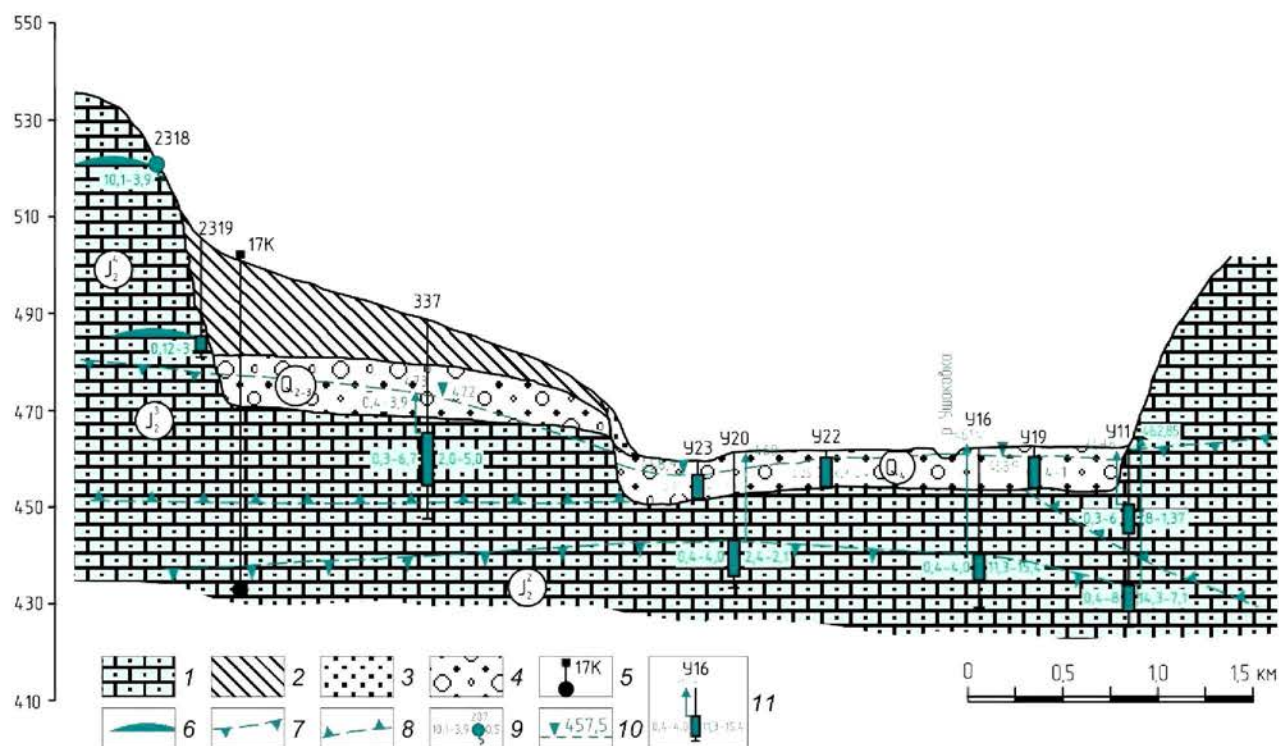
№ скв	Местоположение скважины	Мощность вод. горизонта, м	Удельный дебит, л/сек	Коэф. фильтрации, м/сут	Водопроводимость, м ² /сут
1003	Междуречье р. Ангары, в сторону Китоа	4,79	7,95	330	1580
155	Междуречье р. Ангары, в сторону Китоа	5,35	1,1	30	161
161	Междуречье р. Ангары, в сторону Китоа	4,5	1,74	70	315
163	Междуречье р. Ангары, в сторону Китоа	7,6	15,6	224	1705
164	Междуречье р. Ангары, в сторону Китоа	8,23	2	30	248
255	Междуречье р. Ангары, в сторону Китоа	6,24	2	48	299
256	Междуречье р. Ангары, в сторону Китоа	8,6	5,83	78	670
364	Правобережье р. Ангары, водохр, плотина	8,9	5	65	579
407	Пр. берег р. Ангары, водохр, быв. Шукино	5,4	9,4	189	1020
400	Пр. берег р. Ангары, водохр, быв. Шукино	6,6	2,6	38	252
425	Пр. берег р. Ангары, водохр, Патроны	7,3	13,3	203	1485
399	Пр. берег р. Ангары, водохр, нов. Разводная	7,1	20	383	2730
376	Пр. берег р. Ангары, водохр, пристань Ракета	6,2	0,4	6,5	40
651	Пр. берег р. Ангары, водохр, плотина, обходная фильтрация	5,45	24,9	620	3380
A25к	Левобережье р. Вересовка	1,4	2,02	171	288
860	Левобережье р. Мегет	1,5	2,1	208	312
173	2 км к С-СЗ от ст. Вересовка	7	6	152	1064
179М	3 км к северу от ст. Вересовка в сторону д. Мегет	5,9	5,1	138	589

б) Правобережье Иркутского водохранилища. До сооружения иркутской ГЭС гравийно-галечниковые отложения третьей надпойменной террасы были слабо обводненными. После затопления водохранилища возник водоносный горизонт, протягивающийся 2-3 километровой полосой от створа плотины до д. Тальцы. Наличие водоупорной кровли привело к тому, что гидравлическая связь между водохранилищем и водоносным горизонтом осуществляется исключительно у бровки террасы, где водовмещающие породы непосредственно контактируют с водоемом (рис. 3-6). Как правило, современная береговая линия водохранилища в пределах террасы отстает от ее затопленной бровки на 1-1,3 км. Мощная водоупорная кровля и выход водовмещающих пород глубоко под уровень водохранилища создали благоприятные условия для питания водоносного горизонта и охраны его от загрязнения.

Мощность водоносного горизонта (табл. 3-2) в среднем равна 6,7 м и характеризуется относительным постоянством. Напор подземных вод над кровлей пласта увеличивается от тыльного шва к бровке террасы и у берега водохранилища достигает максимальных величин, обычно 12-15 м. Для гравийно-галеч-



Правобережье Иркутского водохранилища



Долина р. Ушаковки

Рис 3-6. Геолого-гидрогеологические разрезы по характерным участкам
 1 – песчаники, аргиллиты; 2 – суглинки; 3 – песок; 4 – галечники; 5 – уточняющая разрез скважина; 6 – линзы подземных вод; 7 – кровля напорного водоносного горизонта; 8 – подошва межпластового грунтового водоносного горизонта; 9 – родник, слева минерализация в г/л и температура, справа дебит в л/с; 10 – уровень грунтовых и напорных вод; 11 – скважина, слева минерализация в г/л и температура, справа дебит в л/с и понижение в м, над стрелкой абсолютная отметка установившегося уровня воды

никовых отложений третьей надпойменной террасы величина коэффициента фильтрации претерпевает по площади существенные колебания, изменяясь от 6 до 620 м/сутки. Примерно такого же масштаба достигают удельного дебита скважин (от 0,4 до 25 л/сек) и водопроницаемости пласта (от 40 до 3380 м²/сутки).

Производительность скважин, расположенных непосредственно у береговой линии водохранилища, не зависит от общей ширины террасы. Основное значение приобретает положение скважины относительно тыльного шва и бровки террасы. При этом установлено, что наибольший эффект достигается в том случае, когда отношения ширины затопленной части террасы к незатопленной равно либо меньше единицы [Шенькман, 1966]. Различия фильтрационных свойств водовмещающих пород не соотносятся с изменением гранулометрического состава между бровкой и тыльным швом террасы, что прослеживается при сопоставлении величины удельного дебита скважин с гранулометрическим составом водовмещающих пород (табл. 3-3). При одинаковом содержании гравийно-галечниковых и валунных фракции удельный дебит соответственно равен 20 и 0,4 л/сек. Основным фактором, определяющим изменение фильтрационных свойств и водообильности горизонта, является плотность сложения гравийно-галечниковых отложений, которая увеличивается к тылу террасы в

Таблица 3-3

Производительность скважин в зависимости от ее положения относительно бровки и тыльного шва террасы

№ скв	Местоположение скважины	Расстояние скважины, км		Дебит, л/с	Понижение, м	Удельный дебит, л/с
		от бровки террасы	от тыла террасы			
A14	Черта города, Лисиха	1	0,2	8,15	1,36	6
271л	Черта города, Лисиха	1,2	0,3	8,42	1,22	6,9
A32	Ю-В Новолисихи	1	1	17,8	1,9	9,4
18S	Ю-В Новолисихи	1,1	1,2	17,1	2,1	8,1
A33	Новолисиха	0,8	0,4	5,3	2,05	2,6
211Н	Новолисиха	1	0,6	6,5	1,2	5,2
A34	Патроны	0,8	1,3	18	1,35	13,4
105*	Патроны	0,9	1	6	0,3	20
A35	Ново-Разводная	1	1	18	0,65	20
88	Ново-Разводная	1,6	1,2	9	1,5	6
И92	Ново-Разводная	1,3	1,2	15	1,3	11,5
A36	Черта города, пристань Ракета	1,4	0,5	2,4	5,9	0,4
87с	Черта города, м-р. Байкальский	1,6	0,9	8	0,5	16
4651	Пос. Лисиха (уч. обх. фильтр.)	0,2	0,5	30	1,2	25
1008	Пос. Лисиха (уч. обх. фильтр.)	0,35	0,6	12	0,5	24

одном направлении с увеличением мощности водоупорной кровли. В связи с этим становится понятным закономерное уменьшение удельного дебита скважин по мере приближения к тыльному шву террасы. Именно это обстоятельство оказывает решающее влияние на ее производительность, а не расстояние скважины до контура питания.

в) На остальной площади своего развития (левобережье рек Ушаковки и Ангары, долина Иркута) водоносный горизонт своим существованием обязан переливу грунтовых вод из юрских отложений. Инфильтрация атмосферных осадков практически отсутствует из-за повсеместного развития мощной толщи водоупорной кровли. Максимальная мощность водоносного горизонта наблюдается непосредственно у тыльного шва террасы. По направлению к бровке она быстро уменьшается вплоть до полного выклинивания (рис. 3-6). Вода из гравийно-галечниковых отложений поглощается трещиноватыми песчаниками, слагающими цокольный уступ, из последних переливается в отложения низкого комплекса террас или поймы. Сухие гравийно-галечниковые образования в уступе террасы прослеживаются на левобережье р. Ушаковки (с/х опытная станция), Иркута (д. Максимовщина, Мамоны, Новоленинский кирпичный завод) и долине р. Ангары. Обводненность гравийно-галечниковых отложений низкая. На Иркут-Олхинском междуречье удельный дебит скважин равен всего 0,02 л/сек. Многочисленные колодцы, вскрывшие водоносный горизонт в д. Пивовариха, с/х опытной станции и в районе Новоленино быстро вычерпываются во время летних поливов при кратковременном, но интенсивном водоотборе. Невысокая водообильность отложений объясняется неблагоприятными условиями восполнения подземных вод, так как в отличие от террас низкого комплекса и поймы, цоколь третьей террасы врезан в юрские отложения, характеризующиеся незначительными влагозапасами. С другой стороны, благоприятные условия разгрузки стимулируют истощение водоносного горизонта. Немногочисленные источники, дренирующие водоносный горизонт, отмечаются в районе д. Мамоны, у ст. Батарейная, в нижнем бьефе иркутской ГЭС. В последнем случае они возникли за счет обходной фильтрации из водохранилища, которая оценивается Беркиным Н.С. (1968 г.) в $0,6 \text{ м}^3/\text{сек}$ [Шенкман, 2009].

Глубина залегания грунтового водоносного горизонта обычно равна 10-20 м. Лишь в днищах падей и распадков, где покровные суглинки почти полностью смыты, подземные воды вскрываются на глубинах 2-5 м.

По химическому составу подземные воды в отложениях третьей надпойменной террасы являются гидрокарбонатными магниево-кальциевыми с минерализацией 0,4-0,6 г/л. В городской черте наблюдается увеличение минерализации воды, сопровождающееся ростом концентрации хлора и сульфатов, характерных компонентов для протекающих процессов загрязнения подземных вод. Подробнее эти процессы рассматриваются в главе 4. На правобережье водохранилища воды имеют гидрокарбонатный состав и минерализацию, равную 300-400 мг/л. Температура воды по территории исследования колеблется в районе 3-4 °С.

Юрские водоносные горизонты и комплексы

4. Подвешенный грунтовый водоносный комплекс преимущественно отложений присаянской свиты (J_2^3)

Рассматриваемый водоносный комплекс пространственно связан с породами верхней части разреза присаянской и кудинской свиты. В периферической части рассматриваемой территории он приурочен уже к низам присаянской и даже к отложениям черемховской свит. Разделение единого по своей сути водоносного горизонта в зависимости от возраста водовмещающих пород не видится необходимым, поэтому название дается по преобладающему геологическому подразделению.

Подвешенный водоносный комплекс имеет повсеместное развитие, располагаясь в той части гидрогеологического разреза, которая контролируется местной эрозионной сетью. Поэтому долинами малых рек, ручьев, падами и большинством распадков он расчленен полностью или частично на множество изолированных или полуизолированных участков, чем в частности объясняется обилие эрозионных и контактовых источников на площади распространения этого комплекса.

По результатам кондиционной гидрогеологической съемки масштаба 1:200000 Пугача С.Л. (1960 г.), в пределах подвешенного грунтового водоносного комплекса было закартировано два, а на правобережье р. Ангары три самостоятельных, выдержанных по площади водоносных горизонта. По существу, выделение названных горизонтов было произведено по абсолютным отметкам выхода подземных вод. Позднее, при гидрогеологической съемке масштаба 1:50000 Сироткиным Л.А., Шурыгиным Б.Л., Шенкманом Б.М. (1964 г.) было установлено, что водоносные горизонты располагаются выше зоны насыщения и в пределах этой зоны располагаются один-три водоносных слоя. Наряду с этим часты были случаи, когда при изучении комплекса в мощной зоне аэрации до 100 м не встречалось подземных вод. Именно это обстоятельство и приуроченность источников к различному гипсометрическому уровню в условиях однородного рельефа территории, горизонтального залегания и резкой фациальной изменчивости юрских отложений обозначило распространение маломощных линз подземных вод ограниченного размера. Формирование линз происходит при инфильтрации атмосферных осадков в результате промежуточного накопления воды на ограниченных в плане водоупорах. По условиям формирования и залегания подземные воды в зоне аэрации по существу являются верховодкой: водоносные линзы как бы подвешены над зоной.

Водовмещающими породами рассматриваемого комплекса являются песчаники тонко-крупнозернистые, алевролиты, углистые сланцы и угли. Наиболее часто подземные воды приурочены к песчаникам, которыми сложена основная часть разреза присаянской и кудинской свит. Анализ большого количества фактического материала свидетельствует об отсутствии прямой связи между гранулометрическим составом пород и водообильностью. Дебит источников, дренирующих обводненные конгломераты юрских отложений невелик, и редко превышает средние для территории значения. Все указывает на трещин-

ный характер коллектора. В местах выхода подземных вод на дневную поверхность хорошо прослеживается система водопроводящих трещин – горизонтальной и крутопадающей различного направления. С горизонтальной трещиноватостью связаны мелкодебитные источники и пластовые выходы, к крутопадающим зияющим трещинам приурочены в большинстве случаев средне- и крупнодебитные источники (рис. 3-7).

Геометрические параметры водоносных линз определяются частотой изменения литолого-фациального состава и степенью трещиноватости пород. Их размеры колеблются от 1 до 1,5 км в поперечнике. Мощность водоносных линз по данным бурения не более 1-4 м.

Все естественные выходы подземных вод нисходящие. Примерно половина из них приурочена к коренным породам. Как правило, источники являются сосредоточенными в виде одной-двух струй и располагаются в вершине, основании склонов и на стрелке падей и распадков, реже – склонах. Источники дают начало множеству временных водотоков, ручьев и мелких рек. Питание водоносного комплекса зависит от величины инфильтрации атмосферных осадков, которая в свою очередь тесно связана с мощностью и составом покровных отложений (табл. 3-4). Из таблицы видно, что увеличение мощности покровных отложений сопровождается уменьшением плотности и модуля стока родников. Фактически это объясняется увеличением мощности плотных суглинков в разрезе: так при мощности покровных отложений до 1,3 м сверху залегает изрыхлая почва, снизу – щебенистый делювий.

Таблица 3-4

Плотность источников и модуль родникового стока “подвешенного” грунтового водоносного комплекса

Участок расположения	Площадь участка, км ²	Количество источников	Плотность источников на км ²	Суммарный дебит, л/с	Модуль род- никового сто- ка, л/с*км ²	Мощность покровных отложений, м
Правобережье р. Ушаковки	46	55	1,2	61	1,33	0,0-0,6
Междуречье Ангара- Ушаковки	53	41	0,77	16,1	0,3	0,9-1,3
Междуречье Каи- Ангара	76	47	0,62	35,5	0,47	0,9-1,3
Левобережье Иркут	88	19	0,22	13	0,15	1,2-1,8
Междуречье Каи- Олхи	52	4	0,08	3	0,06	3,0-5,0



Рис. 3-7. Естественная разгрузка родников подвешенного вод горизонта

Дебит источников дренирующих подвешенный грунтовый водоносный комплекс изменяется от сотых долей до 5 л/сек, однако наиболее часто встречаются источники с дебитом до 0,5 л/сек. Источники с дебитом более 2 л/с были опробованы на отметках до 600 м, при этом их доля не более 5% от общего числа исследованных водопунктов. Подробнее гидрогеологическая характеристика родникового стока рассматривается в следующей главе.

Минерализация воды подвешенного комплекса в редких случаях превышает 0,5 г/л и обычно равна 0,1-0,3 г/л, иногда снижаясь до 0,03 г/л. Площадная зональность по величине минерализации обусловлена неоднородностью геоморфологического строения территории и различием в условиях питания и разгрузки подземных вод. Так в бассейне реки Ушаковки распространены ультрапресные воды и пространственно эта площадь примыкает к возвышенности, где антропогенное влияние в настоящее время оценивается минимальным. На остальных участках городской территории и пригородов получили развитие воды с минерализацией свыше 0,2-0,4 г/л. По химическому составу вода относится к гидрокарбонатному типу, а по катионному составу выделяются кальциевые, магниевые-кальциевые, кальциево-магниевые и натриевые воды. Указанные классы вод на территории впадины прослеживаются довольно отчетливо, хотя изменение химического состава происходит постепенно. Температура воды обычно на выходах фиксировалась при опробовании в 3-4 °С. Изредка она снижается до 1 °С во время стаивания льда или повышается до 6-7 °С при слабом высачивании на поверхность. Все источники характеризуются чистотой, прозрачностью и бесцветной водой, лишенной запаха и неприятного вкуса. Исключением являются источники, встреченные в местах жилой застройки – в воде источников обнаружены были нитраты (40-75 мг/л в мкр. Новоленино, предместье Марата и Ново-Мельниково).

5. Межпластовый грунтовый водоносный горизонт преимущественно отложений присаянской свиты (J_2^2)

Межпластовый водоносный горизонт присаянской и кудинской свит залегает ниже подвешенного водоносного горизонта, характеризуется относительной выдержанностью по площади и простотой строения. Самостоятельность существования такого межпластового грунтового водоносного горизонта была определена в 1967 году в результате детальных гидрогеологических работ Шенькманом Б.М. и позднее Пиннекером Е.В. (1985 г.), исправив существовавшую на тот момент времени схему стратификации водоносных горизонтов.

В пределах города Иркутска и прилегающих окрестностей межпластовый грунтовый водоносный горизонт имеет почти повсеместное распространение. Долинами рек Ангары, Иркуты и частично Ушаковки горизонт расчленен на отдельные междуречные массивы. На пойме большинства крупных долин он частично или полностью отсутствует. Из-за этого границы развития водоносного горизонта нередко совпадают с контуром аллювиальных отложений поймы, а на Олха-Иркутском междуречье – первой надпойменной террасы.

Межпластовый грунтовый водоносный горизонт приурочен к отложениям средней части разреза присаянской и кудинской свит, для которого характерно широтное изменение литолого-фациального состава водовмещающих по-

род. Слабосцементированные конгломераты кудинской фации слагают обширное поле, западная граница которого проходит через поселок Пивовариха. Далее к западу конгломераты замещаются преимущественно крупнозернистыми пористыми песчаниками суховской фации Ангари-Кудинского междуречья. На левобережье Ангари и низовьях р. Ушаковки преобладают трещиноватые тонко-мелко-среднезернистые песчаники и алевролиты, а соответственно изменяется и тип коллектора с порового на трещинный. Водоупором по разрезу служат аргиллиты, плотные алевролиты и монолитные песчаники.

Водоносный горизонт пространственно связан с зоной выветривания юрских отложений, т.е. с той частью разреза, для которой характерна повышенная трещиноватость пород. Нижняя граница этой зоны в целом контролируется эрозионным врезом основных рек района и располагается на близких эрозионных уровнях. Мощность зоны выветривания на водораздельных участках оценивается в 80-100 м [Копорулин, 1966], и в ее пределах отчетливо прослеживается три системы трещин: горизонтальная и две крутопадающие. В долинах рек выветривание сопровождается кольматацией трещин, чем и может быть объяснена малая обводненность и местный напор подземных вод.

Мощность водоносного горизонта, определенная при крупномасштабном картировании в 1999 г. (Блохин Ю.И.), изменяется от 11 до 20 м и в среднем по скважинам равна 14,6 м. На фоне относительного постоянства вдоль нетеррасированных склонов долин прослеживаются узкие зоны с резким увеличением мощности водоносного горизонта. Так, на правобережье долины р. Ушаковки мощность водоносного горизонта скачкообразно увеличивается до 40-50 м. Заметное возрастание мощности наблюдается также вблизи цокольных уступов и тыльных швов надпойменных террас. В поле развития кудинской фации мощность водоносного горизонта оценивается в 25-30 м.

Глубина залегания межпластового грунтового водоносного горизонта изменяется от 5-15 м в днище падей и долин до 40-70 м на водораздельных участках. Нередко установившийся уровень оказывается выше глубины вскрытия водоносного горизонта. Возникновение напора, величина которого в отдельных случаях достигает до 15-35 м, связано с изменением литологического состава и трещиноватости водовмещающих пород. Когда величина напора превышает глубину залегания подземных вод, скважины фонтанируют (пойма р. Ушаковки, Ангари-Кудинское междуречье). Такая закономерность наблюдается лишь на правобережье р. Ангари.

В границах рассматриваемой территории водообильность горизонта характеризуется крайней неоднородностью. Удельный дебит изученных скважин изменяется в пределах от 0,02 до 21 л/с (табл. 3-5). В поле развития конгломератов кудинской фации удельный дебит скважин редко превышает 0,5 л/с. Обводненность пористых песчаников значительно выше – удельный дебит обычно равен 1-2 л/с. Сравнивая характер распределения водообильности в поровом, трещинно-поровом и трещинном коллекторе, видится следующая зависимость. Наибольшая изменчивость и экстремальные значения удельного дебита связаны лишь с трещинно-пластовыми водами. Коэффициент фильтрации пород изменяется от 0,02 до 70 м/сут, водопроницаемость от 2 до 100 м²/сут. На участках

Таблица 3-5

Распределение скважин межпластового горизонта по удельному дебиту

Удельный дебит, л/с	0,1	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-1,0	1,0-2	2-3	3-5	5	Сумма
Число скважин	17	28	24	23	14	8	7	7	128
Встречаемость, %	13,5	22	18,7	18	11	6	5,4	5,4	100
Суммы удельного дебита, л/с	0,85	5,30	19,5	17,5	22	21	53	88	197
%	0,4	2,7	4,7	8,9	11,2	10,7	16,8	44,5	100

аномальной обводненности водопроницаемость достигает максимальных значений – до $2800 \text{ м}^2/\text{сут.}$

Питание водоносного горизонта происходит в весенне-осенний период при инфильтрации атмосферных осадков. Часть инфильтрирующихся вод непосредственно попадает на уровень водоносного горизонта, но более значительный объем влаги поступает из подвешенного водоносного комплекса. Основное дренирующее влияние оказывают долины р. Ангары, Иркутта и Ушаковки, что отчетливо видно на схематической карте гидроизогипс грунтового водоносного горизонта (рис. 3-8). Разгрузка грунтового водоносного горизонта происходит в аллювиальные отложения современных долин.

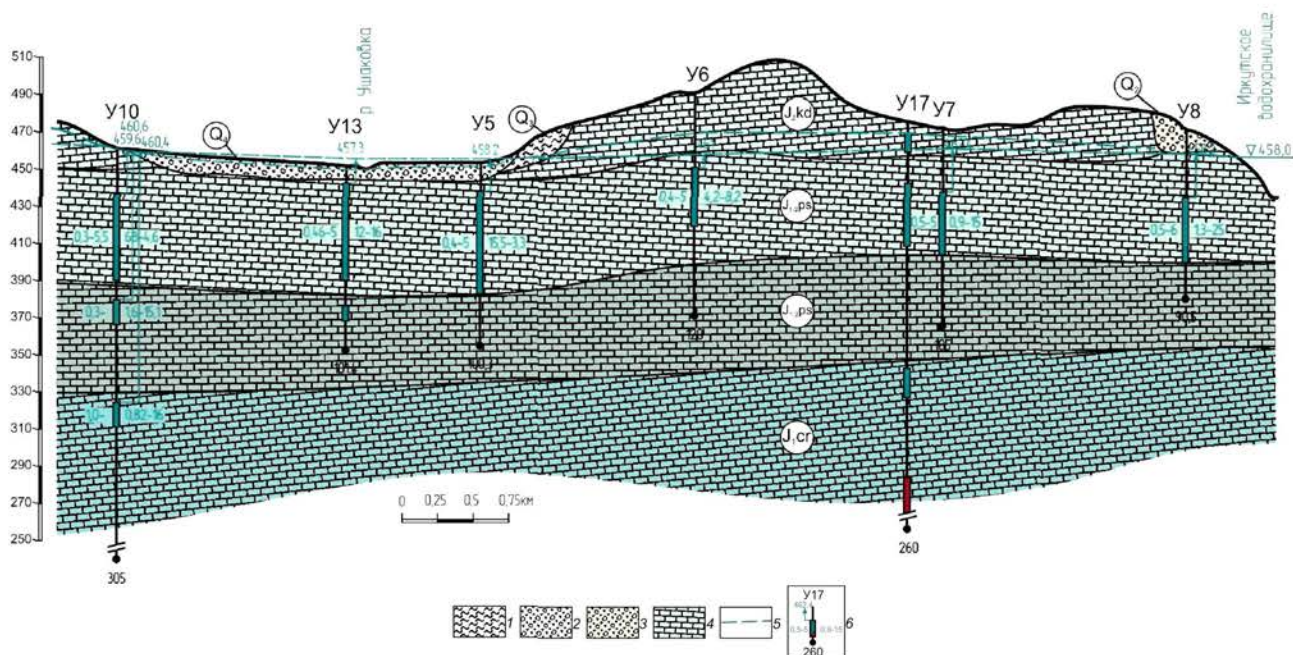


Рис. 3-8. Гидрогеологический разрез (сводный) межпластового грунтового водоносного горизонта

1–3 – четвертичные отложения поймы, первой и второй террас; 4 - аргиллиты, алевролиты, песчанки юрских отложений; 5 – уст. уровень подз. вод; 6 - скважина, вверху номер, у стрелки - абс. отм. уровня воды, слева минерализация в г/л и температура воды в град., справа дебит в л/с и понижение в м, внизу глубина скважины в м, цветной заливкой синим минерализация подземных вод до 1 г/л, красным > 1 г/л

Взаимосвязь грунтового водоносного горизонта с выше- и ниже залегающими подземными водами отмечается только в одностороннем порядке. Проведенные длительные откачки Шенькманом Б.М. при работах в 1965 и 1989 гг. с большим водоотбором и понижением уровня подтвердили это заключение. Водоносный горизонт играет роль промежуточного звена, который связывает подвешенный водоносный комплекс с водами аллювиальных образований.

Минерализация грунтовых вод не превышает 0,6 г/л, изменяясь обычно от 0,2 до 0,5 г/л. По химическому составу вода гидрокарбонатная кальциевая, магниевая-кальциевая и кальциево-магниевая. Несмотря на низкую минерализацию и однотипность состава воды, довольно отчетливо прослеживается их изменение в пределах исследуемой территории. Увеличение минерализации происходит с северо-востока к юго-западу и выражается в постепенной смене почти чистых кальциевых вод кальциево-магниевыми. Содержание магния увеличивается с северо-востока на юго-запад.

В бактериологическом отношении грунтовые воды в пределах городской застройки с пригородами испытывает загрязнение за счет коммунальных и промышленных стоков. Загрязнение обнаруживается в эксплуатационных скважинах в предместье Марата, Рабочее, Новоленино, в Мамонах и Ново-Разводной. Наиболее широко загрязнение прослеживается на участках, где имеется гидравлическая связь с грунтовыми водами четвертичных отложений (районы Горького и Кирова, центральная часть города Иркутска). Повышается минерализация (до 0,8-2,0 г/л) за счет биогенного хлора и сульфатов, максимальное содержание которых соответственно равно 320 и 208 мг/л. Высокая концентрация свободной углекислоты (до 80 мг/л) и нередко значительное несоответствие между величиной сухого остатка и суммой ионов также указывает на биогенное загрязнение. Плохо защищена также часть грунтового горизонта, которая связана с конгломератами кудинской фации – в таких местах в воде обнаружены нитриты в количестве 0,02 мг/л.

б. Напорный водоносный горизонт отложений присаянской свиты (J_2^1)

Рассматриваемый водоносный горизонт имеет повсеместное распространение. Стратиграфически горизонт приурочен к нижней части разреза присаянской свиты. Горизонт вскрывается множеством скважин, равномерно распределенных по изучаемой площади (долины рек Иркут, Ангара, Ушаковки, на междуречье этих рек).

От залегающих выше грунтовых вод напорный водоносный горизонт отделен толщей водоупорных либо слабо водопроницаемых пород, состоящих из аргиллитов, углистых и глинистых сланцев, плотных алевролитов и песчаников (рис. 3-9). Водовмещающие породы представлены обычно мелко- и среднезернистыми песчаниками, реже углям и алевролитами.

По условиям залегания – это трещинно-пластовые воды, приуроченные к перекрытой зоне выветривания [Зайцев, 1961]. Мощность водоносного горизонта изменяется от 10 до 25 м в долине р. Иркут, Ушаковки – от 10 до 15 м. В случаях, когда обводненными отложениями являются песчаники суховской фации и конгломераты кудинской фации, мощность их увеличивается до 30-35 м.

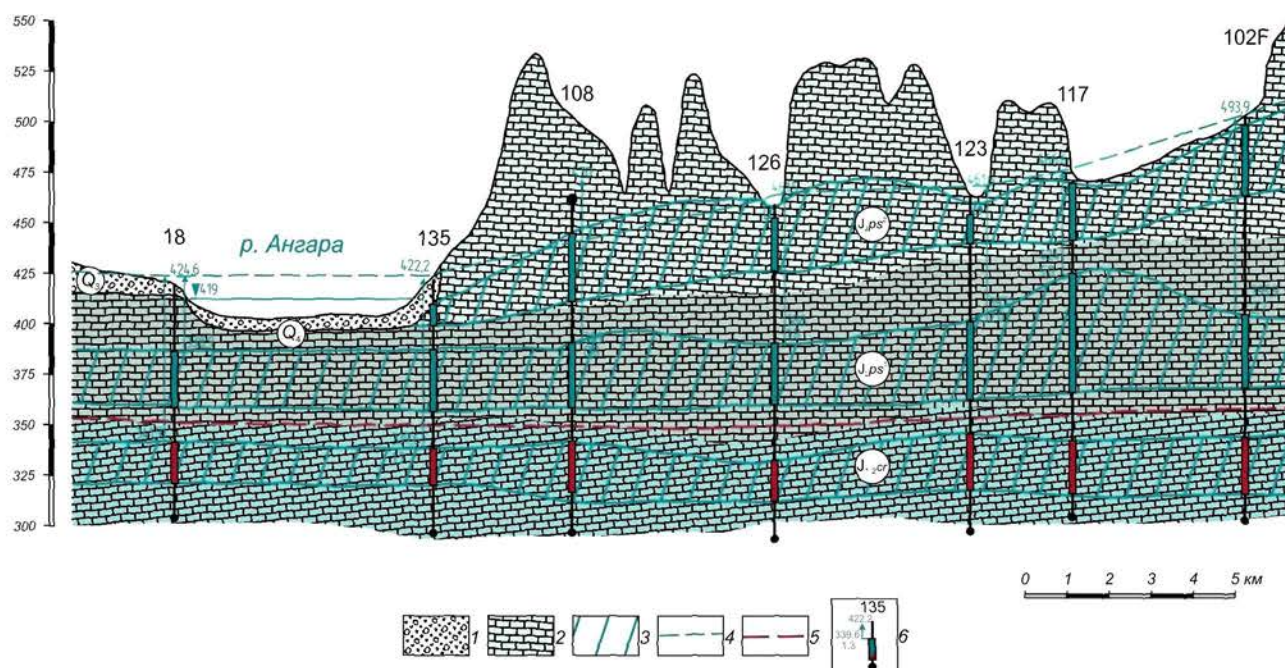


Рис. 3-9. Гидрогеологический разрез напорного водоносного горизонта отложений присаянской свиты

1 - гравийно-галечниковые отложения; 2 - аргиллиты, алевролиты, песчанки разной крупности; 3 - водоносный горизонт; 4 – уст. уровень воды; 5 – зона минерализации подземных вод >1 г/л; 6 - скважина, вверху номер, у стрелки - абс. отм. уровня воды, слева в числителе – абс. отм. вскрытия вод горизонта, в знаменателе удельный дебит в л/с

Однако для основной части территории г. Иркутска и окрестностей мощность горизонта находится в пределах 10-20 м.

На значительной площади своего распространения напорный водоносный горизонт имеет горизонтальное залегание, что вполне подтверждается отметками вскрытия подземных вод (380-400 м). Глубина залегания горизонта зависит от рельефных особенностей территории. В долинах рек воды вскрывается на глубине 20-70 м, на водоразделах – 110 м. Напор над кровлей пласта меняется в широких пределах: от 15-25 м в долине р. Иркут и Ангара до 40-75 м в долине р. Ушаковки и на Ангара-Кудинском междуречье.

Подавляющее большинство водопунктов, вскрывших горизонт в долине рек Ангара, Ушаковки и Ангара-Кудинском междуречье – фонтанируют, при этом пьезометрический уровень располагается на 3-10 м выше поверхности земли. Левобережье Ангара отмечается отсутствием таких скважин, что может быть объяснено структурными особенностями Иркутской территории (территориально являющейся частью Прииркутской впадины). Этот момент отмечен Сироткиным Л.А. с соавторами в отчете по результатам съемочных работ в 1964 г. На правобережье Ангара значительная часть водоносного горизонта имеет моноклинальное залегание, на левобережье – горизонтальное, т.е. область питания и разгрузки располагается на близких гипсометрических уровнях.

Напорный водоносный горизонт отличается изменчивой обводненностью (табл. 3-6). Удельный дебит скважин, вскрывших подземные воды, изменяется от 0,1 до 5,0 л/сек. Наиболее равномерный обводненный участок отмечается на Ангаро-Кудинском междуречье, где удельный дебит составляет почти 2,0 л/сек. В долине рек Иркут и Ушаковки вдоль основания левобережных склонов прослеживается хорошо обводненная зона с удельным дебитом скважин до 2-4 л/сек. В долине реки Ангара его величина редко превышает 1-2 л/сек. На остальной территории удельный дебит колеблется в пределах 0,1-0,5 л/сек.

Температура воды на левобережье Ангара равна 4-5 °С, на правобережье увеличиваясь до 6-9 °С. По химическому составу воды в пределах водоносного горизонта разнятся по своему составу. На Ангаро-Кудинском междуречье встречены гидрокарбонатные кальциево-натриевые и натриевые воды с минерализацией 0,3-0,5 г/л. В долине р. Ушаковки и на Ангаро-Ушаковском междуречье состав воды изменяется на гидрокарбонатный натриевый с той же величиной минерализации. На левобережье р. Ангара состав воды также гидрокарбонатный натриевый, но минерализация увеличивается до 1,0 г/л. В узкой прирусловой зоне долины р. Ангара химический состав воды резко изменяется на хлоридный натриевый с минерализацией до 3,0 г/л.

Основные области питания водоносного горизонта расположены в пределах всей территории Иркутска на водораздельных участках. Разгрузка подземных вод в рассматриваемых границах происходит только в р. Ангара.

7. Водоносные комплексы отложений черемховской свиты (J_{1-2}^3)

В пределах Иркутской агломерации водоносные комплексы черемховской свиты представлены напорными водами, которые приурочены к верхней и средней части разреза толщи юрских отложений. Эта часть разреза сложена преимущественно мелко- и среднезернистыми песчаниками, алевролитами, углистыми сланцами и маломощными слоями углей. Первые обводненные отложения по рассматриваемой территории вскрываются на отметках более 200-240 м. Пьезометрический уровень в долинах рек и на Ангаро-Кудинском междуречье располагается выше дневной поверхности, и скважины, вскрывающие комплекс в этом месте, изливают воду или фонтанируют.

Обводненность разреза черемховской свиты крайне изменчива. Высокая водообильность прослеживается на Ангаро-Кудинском междуречье, где удельный дебит скважин равен 2-4 л/сек. Менее значительные величины характерны для долины р. Ангара – до 1,0 л/сек. Еще меньшая обводненность свойственна левобережью. Удельный дебит скважин здесь редко достигает значений 0,5 л/сек. Водообильность нижней части разреза черемховской свиты очень низкая.

Химический состав подземных вод на Ангаро-Кудинском междуречье гидрокарбонатный кальциево-натриевый и натриевый с минерализацией 0,6-1,2 г/л. Ближе к р. Ангаре он изменяется на гидрокарбонатно-хлоридный натриевый с увеличением минерализации до 1,1-1,8 г/л. В долине р. Ангара происходит резкое увеличение минерализации воды до 6 г/л с одновременной сменой состава на хлоридный натриевый. В долине р. Иркут и повсеместно на левобережье состав воды хлоридный натриевый с минерализацией до 10 г/л. Отметим,

Таблица 3-6

Общая характеристика напорного водоносного горизонта отложений присаянской свиты юры

Место-положение водопунктов	№ скв	Глубина вскрытия, м/ Абс. отм., м	Уровень воды, м/Абс. отм., м	Дебит л/с	Понижение м	Уд.-ый дебит, л/с	Водовмещающие породы
Ангаро-Кудинское междуречье	100	58/400	+15/470	10	12	0,83	Песчаник крупнозернистый
	101	37/466,4	5,1/488,5	14	4,5	3,1	Песчаник мелко-среднезернистый
	117	20/444	+2,3/466,6	10	2	5	Песчаник среднезернистый
	123	59,3/397,2	+5,1/461,6	10	4,5	2,2	Грубозернистый песчаник и гравелиты
	151	47,8/382,2	+0,7/468,5	12	6	2	Песчаник среднезернистый
	186	110/375	55/430	1,3	4	0,32	Песчаник среднезернистый
Долина р. Ушаковки	464	60,2/447,3	+10,3/517,8	13,1	9,7	1,4	Песчаник мелкозернистый, алевролит
	338	50/403	+4/456,3	15,5	3,3	4,7	Крупнозернистый песчаник
	339	70/383,5	+3,8/457,3	8	3	2,7	Песчаник крупнозернистый, гравелит
	14У	75/385,6	+2,8/463,4	6,5	2,1	3,1	Песчаник крупнозернистый
	105U	62,5/444,8	+2,3/509,6	2	-	2	Песчаник мелкозернистый
Долина р. Ангары	18	33/398,9	+2,7/424,6	2	2,7	0,74	Тонкозернистые песчаники
	375	23,2/405,6	+3/432,5	2,7	3	0,92	Мелко-среднезернистые песчаники
	362	14,7/412,9	+2,9/430,5	8	2,2	3,64	Песчаник мелкозернистый, алевролит
	50с	32,4/398,3	+1,05/431,75	6,5	2,6	2,5	Песчаник мелкозернистый
	16с	28/400,2	+1,2/429,4	2,5	-	2,5	Песчаник мелкозернистый
Долина р. Иркуты	321	20/411,7	3/428,7	7,8	4,67	2,6	Песчаник среднезернистый
	333	18/415,8	1,78/432	1,6	14,6	0,1	Песчаник среднезернистый
	354	14/427,7	1,9/439,8	9,65	2,57	3,8	Песчаник среднезернистый
	343	26/404	3,1/426,9	3,15	5,9	0,5	Песчаник мелкозернистый
	334	28/405	3/430	1,33	9,44	0,14	Песчаник крупнозернистый

что в долине реки Ангара и на левобережье хлоридные воды насыщены метаном, а также содержат сероводород в количестве 5-70 мг/л.

В кембрийских породах фундамента ниже по разрезу отмечается *напорный водоносный комплекс ангарской свиты* (C_{1an}) (8), который приурочен к карбонатным породам, обычно доломитам и известнякам. Отложения комплекса перекрыты толщей юрских осадков и в пределах изучаемой территории не имеет выхода на поверхность. Подробное описание подземных вод кембрийских отложений дается в крупных работах исследователей Пиннекера Е.В., Шенькмана Б.М., Сироткина Л.А. и др. В настоящей работе сведения о кембрийском водоносном комплексе приводятся только в краткой форме для общей характеристики гидрогеохимических подразделений в рассматриваемых границах территории.

Вышеизложенная характеристика схемы гидрогеологической стратификации для рассматриваемой территории города включается в себя водоносные подразделения аллювиальных четвертичных, юрских отложений и частично верхнего кембрия. Всего выделено в схеме 8 водоносных горизонтов и комплексов, характеризующихся разными гидрогеологическими и гидрогеохимическими условиями. Учитывая особенный интерес настоящего исследования к зоне пресных подземных вод, на глубину изученности из выделенных подразделений в диссертации уделяется внимание только горизонтам и комплексам четвертичных и частично юрских отложений. Выбрав за основной критерий величину минерализации подземных вод, пресная зона ограничена водоносными горизонтами четвертичных отложений, подвешенным комплексом юры, межпластовым и напорным горизонтом присаянской свиты юры (по рассматриваемой схеме стратификации выше по тексту эти подразделения обозначены по 6^й номер включительно). Собранная информация по фондовым данным и результаты полевых исследований, характеризующие гидрогеологические подразделения, легли в основу глав 3 и 4.

3.3. Гидродинамическая зональность подземных вод

В рамках рассматриваемой гидрогеологической структуры отчетливо фиксируется три гидродинамические зоны, соответствующие активному, затрудненному и весьма затрудненному водообмену. Они удовлетворительно сопоставляются с гидрохимическими зонами, при этом пояс пресных вод целиком располагается в зоне активного водообмена, солоноватые воды с повышенной концентрацией сульфатов совмещаются с зоной затрудненного водообмена, а соленые и солоноватые воды, насыщенные метаном, отражают условия весьма затрудненного водообмена. В долинах крупных рек можно выделить подзону с восходящим типом движения, к которой приурочены сероводородные воды.

Условность гидродинамических границ общеизвестна. Также отмечается и неоднородность скоростей водообмена внутри гидродинамических зон. Различия в темпе водообмена наиболее рельефны в верхней гидродинамической зоне. Учитывая это обстоятельство и то, что предметом настоящей работы яв-

ляются пресные воды, дальнейшая детализация ограничивается лишь зоной активного водообмена.

В пределах верхней гидродинамической зоны скорость водообмена уменьшается сверху вниз по разрезу, в одном направлении с уменьшением плотности эрозионной сети. В количественном выражении последняя на уровне крупных рек, наиболее значительных их притоков и мелких водотоков соотносится друг к другу примерно в отношении 1:4:40. В связи с этим можно выделить три уровня дренирования, определивших многоярусное залегание подземных вод. Первый уровень контролируется местной эрозионной сетью, второй – основными притоками р. Ангары, третий – долиной р. Ангары.

Верхняя эрозионная поверхность контролирует, главным образом, родниковый сток. Строение поверхности весьма сложное, ибо располагается она в зоне азрации, где наблюдается пространственное разобщение водоносных линз, слоев и прослоев по уступам и разрывам. Она является буферной поверхностью, с которой частично через родниковый сток сбрасывается инфильтрационная влага. Другая ее часть проходит до зоны насыщения. Вторая поверхность сформирована эрозионной сетью с постоянным речным стоком. Сюда можно отнести малые реки, к которым относятся Кая, Ушаковка, Куда и др. Третий эрозионный уровень образуют долины рек Ангары и Иркутка.

Уровни дренирования подземных вод хорошо сопоставляются с водоносными горизонтами и комплексами. Первому отвечает “подвешенный” водоносный комплекс, второму и третьему – соответственно межпластовый грунтовый и напорный водоносные горизонты присаянской свиты. Сопоставимость уровней с основными таксономическими единицами гидрогеологического разреза позволяет дать оценку ресурсов отдельно для каждого водоносного горизонта и комплекса [Шенкман, 1966, 1969]. Основные различия на всех уровнях дренирования отмечаются между право- и левобережьем Ангары. На первом и втором уровнях они сводятся к глубине и плотности эрозионной сети. В этом отношении левобережье Ангары характеризуется наиболее высокими показателями. На третьем уровне дренирования превосходство обусловлено структурными особенностями территории. Прежде всего, это наложило свой отпечаток на взаимное положение областей питания и разгрузки на право- и левобережье Ангары. Во-вторых, рассматриваемая территория Иркутска является центральной частью Прииркутской впадины, которая в свою очередь, таким образом сопряжена с со смежными структурами, что на правобережье Ангары происходит приток, а на левобережье – отток подземных вод.

Естественные ресурсы подвешенного водоносного комплекса (первый уровень дренирования)

Подземный сток первого уровня дренирования отличается неустойчивым режимом, общее сведения о котором представлены в табл. 3-7. Резкое увеличение дебита родников происходит весной в самом начале сезона снеготаяния и совпадает с датой перехода среднесуточной температуры через 0 °С. Иногда заметное питание грунтовых вод начинается даже при неустойчивых положительных температурах воздуха. В период массового снеготаяния во второй декаде апреля расход родников скачкообразно увеличивается. На графике (рис.

Таблица 3-7

Естественные ресурсы “подвешенного” грунтового водоносного горизонта
(в границах Прииркутской впадины)

Участок	Площадь, км ²	Модуль подз. стока, л/сек·км ²	Объем стока, м ³ /с	Слой стока, мм	Коэфф. стока, %
Куда-Ушаковское и Ушаковско-Ангарское междуречье	1300	1,5	1,94	47	7,8
Ангаро-Кайское междуречье	400	0,7	0,28	22	4,4
Олха-Кайское	100	0,1	0,01	3,2	0,7
Иркут-Кайское междуречье	740	0,4	0,3	12,8	2,9
Иркут-Китойское междуречье	660	0,3	0,2	9,6	2,7
Общее, по впадине	3200	0,85	2,73	27	5,8

3-10) кривая дебита приобретает положение, близкое к вертикальному, обуславливая весенний максимум. В отдельные годы летне-осенний подъем уровня вообще не отмечается. После относительно короткой стабилизации происходит непрерывное уменьшение расхода. В зависимости от зарегулированности родника кривая истощения может быть либо очень крутой, либо умеренно полой. После прекращения жидких осадков кривая спада постепенно выхолаживается. Интересно отметить, что в маловодные годы выпадение дождей в летне-осенний период в гидрографе родника самостоятельно не проявляется. В эти годы подавляющая часть жидких осадков расходуется на испарение, почвенный сток, и лишь небольшой объем влаги достигает уровня грунтовых вод. В этой

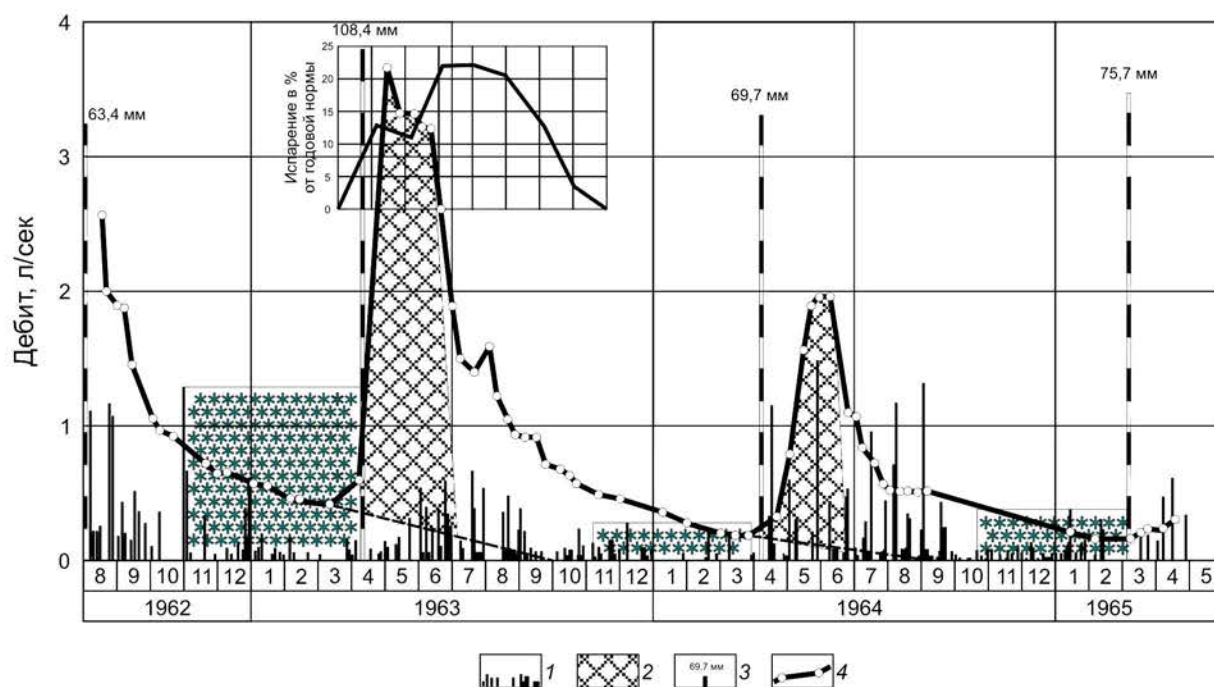


Рис. 3-10. Режим родника в пади Каменщикова, бассейн р. Кая [86]
1 — осадки, мм; 2 — суммарные влагозапасы в снеге, мм; 3 — снеговое питание; 4 — ход суммарного испарения с поверхности земли

ситуации истощение запасов не может быть скомпенсировано инфильтрацией. Последняя лишь несколько ослабляет процесс, что хорошо видно из сопоставления кривых спада и подъема.

Таким образом, в годы малой водности восполнение подземных вод в значительной степени зависит от влагозапасов, накопленных в снеге. По данным Шенькман Б.М. (1983 г.) на долю снегового питания приходится в отдельные годы до 60%. Снеговое питание оказывает решающее влияние не только на размер весеннего пика, но и на среднегодовой расход. На этот факт также указывали ранее авторы отчета по съемочным работам в масштабе 1:50000 за 1964 г. во главе с Сироткиным Л.А.

В случае многоводного года отчетливо наблюдается летне-осенний максимум. В зависимости от величины, интенсивности и распределения осадков в течение летне-осеннего периода второй пик может быть меньше или больше весеннего. На рис. 3-11 приведены данные режимных наблюдений по роднику в черте города. Величина дождевых осадков разнилась от 355 до 554 мм, максимум осадков пришелся на июль-август, а в другой год на июнь-июль. Отсюда и произошло в одном случае разобщение пиков, в другом – слияние. По режимным наблюдениям можно сделать вывод о том, что подземный сток на первом уровне дренирования имеет один-два максимума, незначительно смещенных относительно начала снеготаяния и летне-осенних дождей и один-два спада-ми в начале лета и в холодный период года.

Естественные ресурсы межпластового грунтового водоносного горизонта (второй уровень дренирования)

Межпластовой грунтовой водоносный горизонт частично либо полностью дренируется реками, образующими второй уровень дренирования. Как было изложено выше, эти реки имеют круглогодичный сток, основной объем которого формируется далеко за пределами исследуемой территории города с

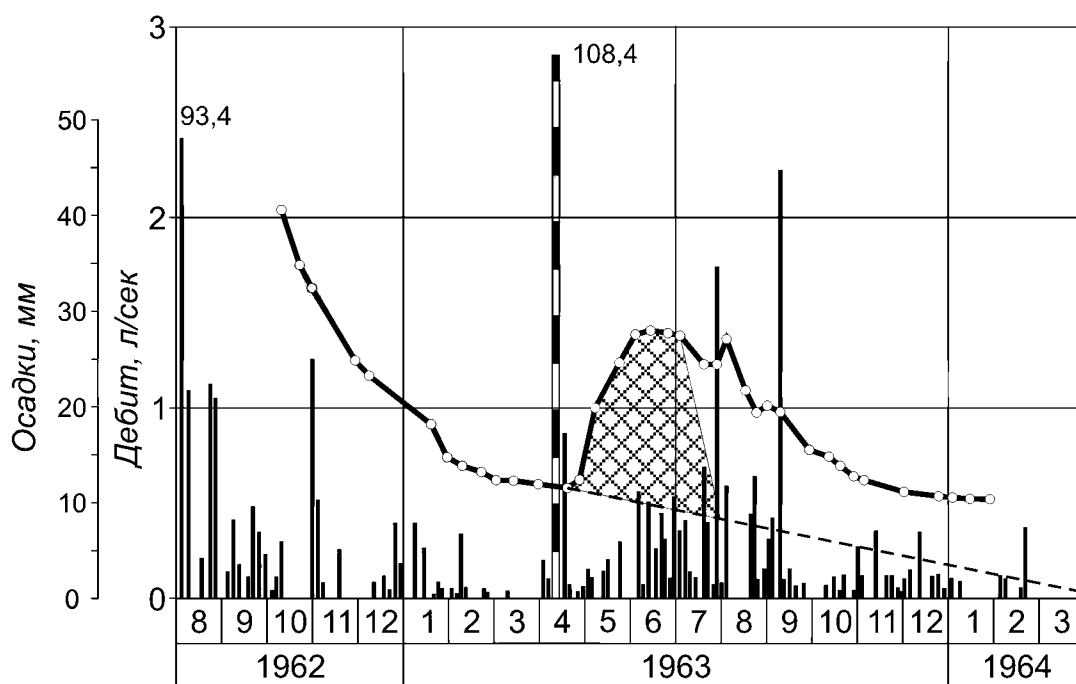


Рис. 3-11. Режим родника 314 в пади Грязнуха (городская черта) [86]

окрестностями, питаются из водоносного горизонта и имеют с ним гидравлическую взаимосвязь, характеризуются неустойчивыми летней и зимней меженью. Режим подземного стока в значительной степени зависит от общих влагозапасов водоносного горизонта. Чем больше они, тем больше при прочих равных условиях подземный сток. Изменение влагозапасов определенным образом связано с колебанием уровня подземных вод.

Ранее при исследованиях динамики уровня подземных вод на территории Прииркутской впадины [Шенькман, 1966] была отмечена очень малая годовая амплитуда уровня для центральной части структуры – 0,2-0,7 м. Подъем уровня совпадает с массовым снеготаянием, и следовательно, с увеличением дебита родников “подвешенного” грунтового водоносного горизонта. Это говорит о том, что в условиях грунтового потока относительно постоянство влагозапасов может существовать при наличии постоянного источника их восполнения. Роль такого источника выполняет “подвешенный” грунтовый водоносный комплекс, являющийся буферной емкостью, которая трансформирует сезонное питание в круглогодичное.

Совпадение сроков повышения уровня воды межпластового водоносного горизонта с увеличением дебита родников “подвешенного” комплекса позволяет считать, что среднемесячные расходы рек за сентябрь-октябрь весьма близки среднегодовой величине подземного стока. Описанное подразумевает, что наиболее полное представление об естественных ресурсах межпластового грунтового водоносного горизонта дает подземный сток в период зимней межени, однако лишь приблизительно, так как по рекам имеются громадные потери стока на наледообразование. Так по р. Кая при ее длине около 40 км и ширине в 4 м объем воды во льду составляет 320 тыс. м³ с наледным стоком в 25 л/с, р. Ушаковка длиной 60 км и шириной в 20 м с объемом вод во льду 1400 тыс. м³ имеет наледный сток 118 л/с. Потери стока наледообразования по этим рекам в 3-4 раза превышает потери на указанное ледообразование.

Естественные ресурсы по бассейнам рек с учетом природных условий были оценены ранее при гидрогеологических работах в рамках границ Прииркутской впадины методами “срезки” и “разностей” (табл. 3-7). Оценочные зна-

Таблица 3-7

Естественные ресурсы межпластового грунтового водоносного горизонта

Речной бассейн	Площадь водосбора, км ²	Подземный сток, м ³ /с	Модуль подземного стока, л/с·км ²	Слой подземного стока, м	Коэффициент подземного	
					стока, %	питания, %
Куда	2400	1,53	0,64	20	5	25
Ушаковка	460	1,12	2,44	77	14	27
Ангара (пр.)	2990	1,46	0,49	15	3	-
Кая и Олха	238	0,25	1,05	33	7	32
Иркут	180	0,27	1,5	47	10	31
Ангара (лев.)	640	0,8	1,25	39	8	-

чения подземного стока для р. Ушаковки составили $1,12 \text{ м}^3/\text{с}$, модуль подземного стока $2,44 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$, а для р. Каи значение подземного стока составило $0,25 \text{ м}^3/\text{с}$, модуль подземного стока $1,05 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$. По р. Иркут оцениваемый участок бассейна невелик, т.к. подземный сток осуществляется главным образом на левобережье, а основной объем с правого берега перехватывается долинами р. Каи и Олхи. Ниже устья Каи сильнейшее влияние начинает оказывать р. Ангара. Долина Иркут очень широкая с крутыми бортами и днищем из хорошо проницаемого аллювия (рис. 3-12). Контур распространения межпластового грунтового водоносного горизонта совпадает с границей эллювиальных образований поймы и комплекса низких террас, т.е. в долине осуществляется полное дренирование горизонта. В таких условиях значение подземного стока составило $0,42 \text{ м}^3/\text{с}$ и модуля подземного стока $1,5 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$.

Частично сток из межпластового грунтового водоносного горизонта поступает непосредственно в долину р. Ангара. Это подземный сток с бассейна ручья Топка ($0,15 \text{ м}^3/\text{с}$), сток с междуречья р. Ушаковки-водохранилища-Каи ($0,69 \text{ м}^3/\text{с}$), сток с участка междуречья Иркут в сторону р. Китой ($0,45 \text{ м}^3/\text{с}$). Общие ресурсы межпластового водоносного горизонта равны для территории Прииркутской впадины $6,4 \text{ м}^3/\text{с}$, причем 64% их сосредоточено на правобережье р. Ангара.

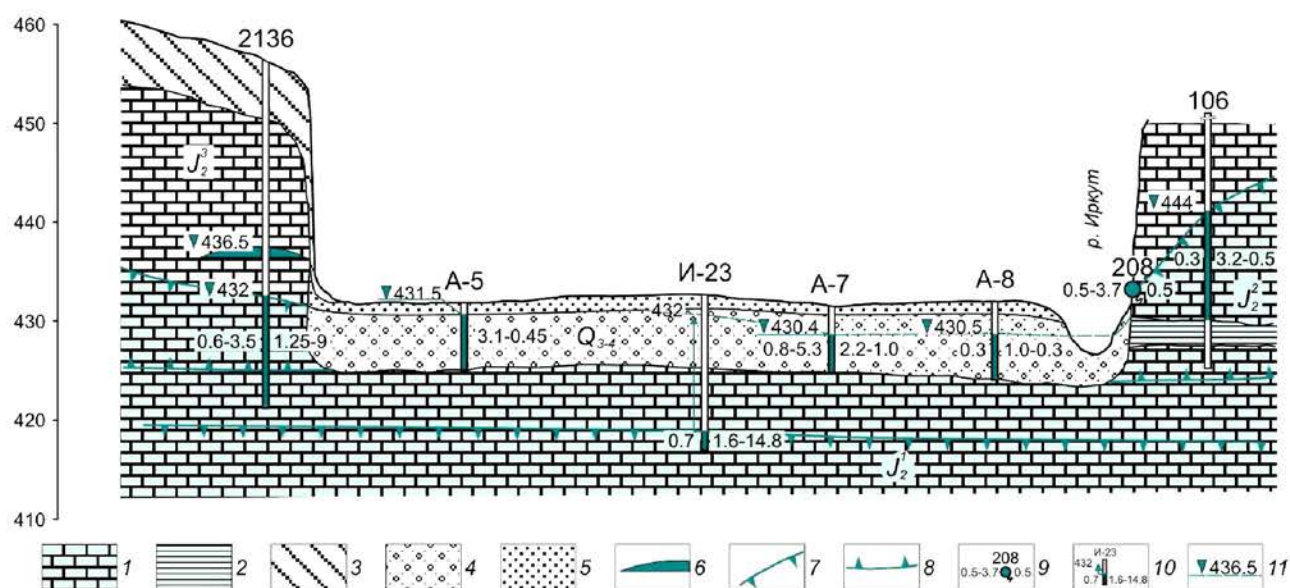


Рис. 3-12. Гидрогеологический разрез долины р. Иркут (р. Кая – п. Мамоны)

1 – песчаники, алевриты; 2 – аргиллиты; 3 – суглинки, супеси; 4 – гравийно-галечниковые отложения; 5 – песок; 6 – линзы подземных вод; 7 – уровень устоявшегося вод. горизонта; 8 – подошва грунтового водоносного горизонта; 9 – родник, сверху номер, слева минерализация в г/л и температур в град, справа дебит в л/с; 10 – скважина, сверху номер, у стрелки – абс. отм. уровня воды, слева минерализация в г/л и температура воды в град., справа дебит в л/с и понижение в м; 11 – уровень подземных вод с абс. отм.

Естественные ресурсы напорного водоносного горизонта присаянской свиты (третий уровень дренирования)

Напорные воды минуют речные системы первого и второго уровней дренирования, разгружаясь в виде закрытого артезианского стока по рассматриваемой территории в долине р. Ангары. Разгрузка этих вод подтверждена была гидрохимическими исследованиями ранее [Шенькман, 1966, 1967, 1986], а основные ресурсы выделены на правобережье р. Ангары. Режим подземного стока устойчив в годовом и многолетнем разрезе, в области питания годовая амплитуда колебания уровня не превышает 0,2 м, а в области разгрузки и стока дебит фонтанирующих скважин характеризуется стабильностью. Естественные ресурсы напорного водоносного горизонта определены были по методу аналогии для расчетов и по левобережью р. Ангары составили 0,61 м³/с, а для правобережья 4,38 м³/с.

Общие ресурсы подземных вод зоны активного водообмена по Прииркутской впадине оцениваются в 14,1 м³/с, модуль подземного стока 2,4 л/с·км². Для части ее территории в сопоставлении границ Иркутска с окрестностями эти значения будут в несколько раз меньше. Отметим также неравномерное распределение ресурсов по площади бассейнов рек, т.к. при детальном рассмотрении оказывается, что правобережье Ангары сосредоточило до 80% от общего объема. Это обстоятельство обусловлено различной площадью распространения водоносных горизонтов, лучшей увлажненностью правобережья и его связью с более крупной гидрогеологической структурой (Кудинской депрессией).

3.4. Пространственно-временная изменчивость основных параметров водоносных подразделений с учетом техногенной компоненты

Гидрогеологическая информация, собранная за период последних 50 лет имеет характерные маркеры, позволяющие говорить о влиянии города на геологическую среду, одним из элементов которой являются подземные воды. Направленность изменений выразилась главным образом в подъеме уровенной поверхности и трансформации качественного состояния подземных вод. Поэтому, гидрогеологический процесс, протекающий в условиях наращиваемого техногенного воздействия, привел к постепенному расширяющемуся подтоплению застроенных территорий и усилению агрессивных свойств воды. Оба явления относятся к числу деструктивных и в контексте данного исследования оценивались ретроспективно с учетом собранных актуальных данных.

Анализ имеющихся данных показал, что до середины XX века подтопление, как результат искусственного нарушения естественного режима подземных вод, в письменных источниках не упоминается. Это не означает, что антропогенное вмешательство полностью отсутствовало: проявлялось настолько слабо, что при реально существовавшей глубине освоения геологической среды подтопление застроенных площадей не происходило. При этом освоение территории начиналось от берега р. Ангары и медленно продвигалось в сторону коренных склонов и водоразделов. Преимущественное размещение городской территории существовало на площадках высокой поймы, первой и второй

надпойменных террас. Спасала от подтопления в первую очередь малая глубина освоения геологической среды. Так, до начала XX века городская территория в основном состояла из деревянной усадебной застройки, погреба и подполья в которой имели глубину, не превосходящую 1,0-1,4 м. Что же касается зеркала грунтовых вод, то оно на площадке первой надпойменной террасы находилось на глубине более 4 м: основание фундамента кафедрального Собора Казанской иконы Божьей матери в 1875 году размещалось на глубине 5,5 аршин [31]. В последующие годы подтопление собора не происходило. Это означает, что сезонный подъем уровня, обеспеченный инфильтрацией атмосферных осадков, не приводил к подтоплению. Участие дополнительного питания искусственного происхождения в формировании урочной динамичности было довольно скромным. Прежде всего, это связано с малым водопотреблением, не превышающим 40 л на человека, и следовательно, с низкой нормой водоотведения. Во-вторых, водоотведение происходило на рельеф и через фильтрующие выгребы, что исключало сколько-нибудь заметную локально-аномальную инфильтрацию на уровень грунтового потока. Выравниванию инфильтрации по площади способствовал усадебный тип застройки и полное отсутствие твердого покрытия.

Застройка на противоположной стороне р. Ангары началась несколько позже, но также происходила в прибрежной полосе, главным образом, на прирусловом вале, где поверхность высокой поймы занимает наиболее высокое гипсометрическое положение (пос. Жилкино и Боково). Несмотря на относительно близкое к поверхности земли залегание грунтовых вод, подтопление застроенных площадей из-за малой глубины освоения геологического пространства здесь не происходило.

Вместе с тем, в летописях находятся свидетельства, повествующие о многократных затоплениях подвальных помещений расположенных главным образом в прибрежной полосе р. Ангары. Появление воды в заглубленных частях зданий хронологически совпадает с прохождением половодья, паводков и рекостова с краткосрочным стоянием уровней редкой встречаемости, соответствующей 3-5 % обеспеченности. В это время вода появлялась на застроенной местности переливаясь через окна цокольного этажа в подвалы и после спада довольно быстро просачивалась на поверхность грунтового потока. Столь же быстро затопление протекало при ливневых дождях высокой интенсивности, приводящих к формированию обильного подпочвенного потока. Особенно это характерно для лет с суточным максимумом 1-5% обеспеченности, когда в июне-августе осадков выпадает от 50 до 84 мм [68].

Катастрофические уровни воды в Ангаре и Иркуте, ливневые осадки высокой интенсивности относительно редки и краткосрочны. Поэтому затопление происходит не часто и оно быстротечно. К примеру, зазорные уровни, превышающие половодье и паводки, за сорок лет наблюдений, лишь четыре раза устанавливались выше ординара на пять метров (рис. 3-13). И ливни, и наводнения повторяются с близкой частотой: за 120 лет учета количества атмосферных осадков, превышающих 600 мм, наблюдалось не более 10-12 раз. Редкая повторяемость затоплений, их быстротечность коренным образом отлична



Рис. 3-13. Высшие зажорные уровни воды р. Ангары у г. Иркутска [69]

от подтопления грунтовыми водами, для которых свойственна сезонная периодичность, многолетняя непрерывность, инерционность подъемов и спадов уровня и тесная сопряженность с атмосферными осадками любой обеспеченности не только текущего года, но и предшествующих лет.

До конца XIX века гидрогеологическая обстановка оставалась по большому счету неизменной. Подземные воды не привлекали особого внимания, и только частые пожары понудили заложить по городу около десятка колодцев. В усадьбах существовало много копанных колодцев, вода из которых из-за низкого качества использовалась в основном для хозяйственных нужд, а питьевые потребности целиком покрывались доставкой из Ангары. Во всяком случае, начиная с 1932 г., в первых же отчетах по гидрогеологическим изысканиям имеются ссылки на широкое распространение колодцев с водой весьма низкого качества.

Слабое влияние застроенной территории на уровенную динамику водоносного горизонта аллювиальных четвертичных отложений высокой поймы, первой и второй надпойменных террас ограничивается исключительно зоной насыщения. В зоне аэрации, в течении длительного времени происходили и продолжают до сих пор существенные изменения. Вертикальная планировка, изначально направленная на засыпку переувлажненных замкнутых понижений, в последствии распространилась на всю обжитую городскую территорию, с исключительным вниманием к прибрежной полосе р. Ангары. В результате этого масштабного перемещения грунтовых масс мощность зоны аэрации за 300 лет возросла на 1,5-2,5 м, а в береговой полосе - до 7 м. Эта часть геологического разреза прекрасно задокументирована. В качестве иллюстрации сошлемся на материалы изысканий, выполненных в 2000 г. под строительство канализационного коллектора по ул. Карла Маркса. На профиле длиной 1250 м пройдено 21 скважина, которые все вскрыли насыпные грунты мощностью от 1,0 до 3,7 м (в среднем – 2 м). Вдоль современной набережной наращивание разреза из-за угрозы наводнений производилось особенно энергично. В начале шло сооружений берегового вала, затем выравнивание набережной до высшей точки вала. Особенно большие массы грунта, строительного мусора, твердых бытовых отходов, шлака и золы уложены на площадке памятника Александру III и первой

ТЭЦ города. Довольно полное представление для этой части исторической застройки города дают изыскания, проведенные на площадке ТЭС в 1986 г. По данным буровых работ, мощность слоя техногенных грунтов достигала 6,1 м. При подсыпке отметки поверхности земли были подняты с 424-426 м до 430-431 м.

Увеличение мощности зоны аэрации значительно повысило потенциал подтопляемости. Одновременно с этим, произошли качественные сдвиги в вещественном составе грунтов, слагающих эту часть геологического разреза. Если ранее русловая фация аллювиальных отложений (гравийно-галечниковый слой, частично, либо полностью обводненный), на большой площади своего распространения была перекрыта толщей супеси от 1,0 до 4,0 м, то теперь супеси сами оказались погребенными под техногенными грунтами, проницаемость которых понижена и крайне неоднородна. Гидрогеологические условия, сложившиеся к концу XIX века на территории города можно охарактеризовать следующим образом. Во-первых, зеркало грунтовых вод размещалось на глубине 4-8 м. Во-вторых, сезонные и многолетние амплитуды колебания уровня вряд ли превышали 0,5-1,0 м. Поэтому, при существовавшей тогда глубине освоения геологического пространства подтопление исключалось. Наконец, влияние антропогенного фактора на уровенный режим если и проявлялось, то вяло из-за малого водопотребления и рассеянного водоотведения, сбрасываемое на слабопроницаемую поверхность техногенных грунтов.

Вплоть до начала тридцатых годов гидрогеологическая ситуация оставалась слабозависимой от текущей хозяйственной деятельности. Небольшое оживление в изучение геологической среды внесла прокладка Транссиба. В Глазковском предместье пришлось сделать весомую подсыпку грунта, что привело к увеличению глубины залегания грунтовых вод вдоль левого берега Ангары. Строительство магистрали привело не только к расширению существовавших поселений (Боково, Жилкино), но и появлению новых (Иннокентьевской, Селиванихи). Несколько позже здесь же, на левобережной пойме Иркуты, возник поселок Военный городок. Освоение пойменных переувлажненных площадей, затапливаемых при высоких половодьях и паводках, сопровождалось минимальной осушительной мелиорацией. Строительству осушительной системы не предшествовали гидрогеологические изыскания, поэтому, возможное участие грунтовых вод в питании болот осталось невыясненным.

На правобережье Ангары застройка территории переместилась главным образом на площадку третьей надпойменной террасы, где подземные воды аллювиальных отложений либо вовсе отсутствовали, либо обводненной была лишь нижняя часть слоя мощностью не более 1,0-1,5 м. Помимо незначительной обводненности, горизонт вскрывался на глубине от 4 (уступ террасы) до 9 и более метров в тыловом шве. Но главное отличие от ранее рассмотренных грунтовых вод заключается в присутствии в кровле гравийно-галечниковых отложений довольно мощного покрова делювиальных супеси и суглинков, практически исключающих естественное инфильтрационное питание (рис. 3-14).

Если до этого основная хозяйственная жизнь сосредотачивалась вокруг исторического центра застройки города, то в начале 30-х годов на левобережье

Ангары возник новый центр, ядром которого стал строящийся авиазавод с жилым поселком. Возведение промзоны и селитебного сектора сопровождалось более глубоким использованием геологической среды, чем на правобережье Ангары. Поэтому под строительство была выбрана площадка с залеганием грунтовых вод более 4 м. Этому условию, помимо других ограничений, соответствовала поверхность третьей надпойменной террасы, ширина которой здесь достигает 3 км. Несмотря на территориальную общность, гидрогеологические условия по обе стороны реки Ангары существенно различаются. На мысовом окончании Ангаро-Ушаковского междуречья русловая фация отложений третьей надпойменной террасы почти целиком сдренирована, а обводнение базального слоя происходит за счет перелива из пород коренной основы. На левобережье гравийно-галечниковый слой сопоставимой мощности, напротив, обводнен, как правило, полностью. Но главное заключается в том, что восполнение ресурсов происходит преимущественно при инфильтрации атмосферных осадков на площади распространения водоносного горизонта. Такого рода непосредственное питание обусловлено небольшой мощностью (не более 6 м) и преимущественно песчаным составом зоны аэрации. Вполне очевидно, что эти два важных обстоятельства в обозримом будущем могут привести к подъему поверхности грунтовых вод. Таким образом, уже на старте территория, занимаемая третьей надпойменной террасой, являлась потенциально уязвимой по

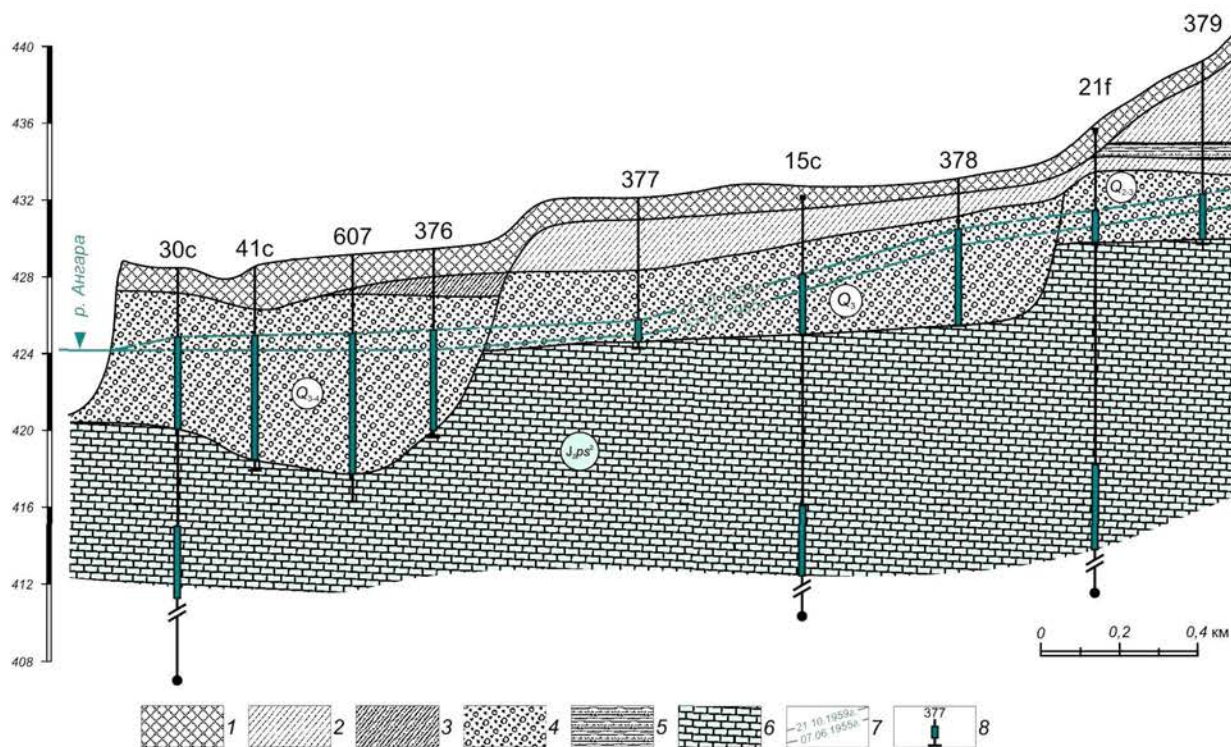


Рис. 3-14. Геологический разрез по оси мысового окончания Ангаро-Ушаковского междуречья (центральная часть г. Иркутска)

1 – техногенные грунты; 2 – супеси; 3 – суглинки; 4 – галечник с гравием и песком; 5 – глина; 6 – породы коренной основы (песчаники); 7 – уровень грунтовых вод на указанную дату; 8 – скважина

подтоплению. Из этого следовало, что на стадии проектирования и строительства следовало предусмотреть защиту территории от подтопления. Однако в то далекое время угроза подтопления, вероятно, объективно не воспринималась.

Инженерно-геологические изыскания на площадке промзоны проводились одновременно с гидрогеологическим обследованием территории, связанным с Ангарской гидроэнергетической программой. Разработанный в 1934 г. Ленгипрогором генплан Иркутска исключал возможность техногенного подтопления города даже после строительства гидроузла, завершение которого намечалось к 1944 г. Предполагалось, что к концу 50-х гг. XIX века население Иркутска увеличится до 600 тыс. человек. Приращение городской территории намечалось сделать в первую очередь за счет устьевых участка поймы р. Иркут, т.е. территории, которая находилась в условиях естественного постоянного подтопления и периодического затопления. В связи с этим предусматривалось предварительное осушение территории открытым дренажем в комбинации с широко используемой подсыпкой. Считалось, что таким образом проведенное увеличение мощности зоны аэрации избавит застроенную территорию от подтопления, а обволочение русла Иркуты – от затопления.

Генплану 1934 г. не суждено было в намеченные сроки реализоваться, поэтому гидрогеологическая обстановка оставалась практически неизменной вплоть до 1955 г. На правобережье наиболее выразительно обнаруживал себя радиально-расходящийся грунтовый поток мысового окончания Ангаро-Ушаковского междуречья (рис. 3-15).

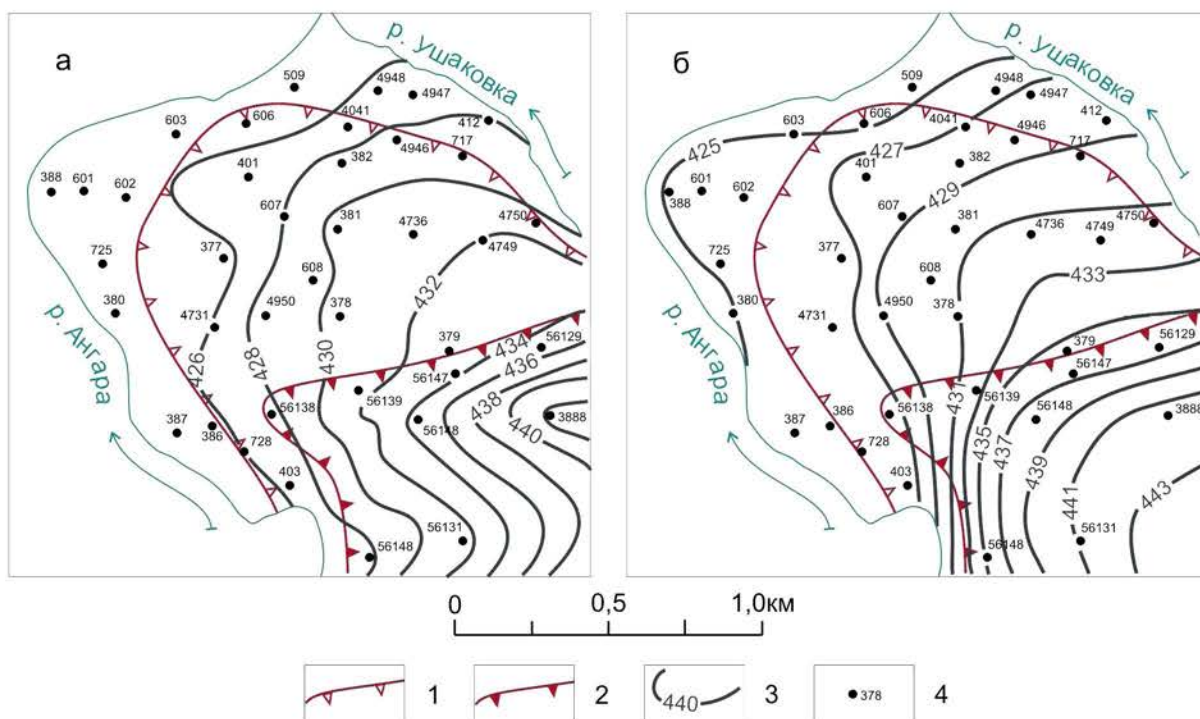


Рис. 3-15. Схема гидроизогипс грунтового потока аллювиальных отложений на мысовом окончании Ангаро-Ушаковского междуречья
 а – в 1955 г., б – в 1959 г.; 1-2 – цокольные уступы второй и третьей террас;
 3 – гидроизогипса, в абс. отм.; 4 – скважина

На левобережье грунтовый поток обладал заметно меньшим уклоном и линии тока располагались в основном параллельно друг другу. Максимальный импульс к преобразованию естественный режим получил сразу же по завершении строительства Иркутского гидроузла. Особенно радикальные изменения произошли на правобережье, где на нижнем участке водохранилища сформировался техногенный напорный водоносный горизонт в аллювиальных отложениях третьей надпойменной террасы. Обходная фильтрация в правом примыкании плотины привела к обводнению не только сухие галечники среднего комплекса террас, но и приподняла зеркало грунтового потока в отложениях низкого комплекса, но не более чем на один метр. Начавшиеся в 1954 г. режимные наблюдения показали, что новое базисное положение урвонной поверхности стабилизировалось к концу 1954 г. (рис. 3-14). Как и прогнозировалось, подтопление застроенной территории в нижнем бьефе не произошло. Не изменилась и гидрогеодинамическая структура потока: достаточно сопоставить схемы гидроизогипс 1954 и 1959 гг. В верхнем бьефе напор над кровлей техногенного водоносного горизонта гравийно-галечникового слоя третьей надпойменной террасы, стимулировал капиллярный подъем влаги в перекрывающей толще делювиальных суглинков. Мощность капиллярной каймы в предельном варианте приближается к 8-9 м. Это означает, что подтопление реально береговой полосе водохранилища шириной до 700-800 м.

На левобережье Ангары зарегулированность стока проявилась в снижении пиковых подъемов урвоней половодий, паводков и зимних зажоров. Поэтому, кратковременное подтопление в поселках Боково и Жилкино либо исчезло вовсе, либо возникало только при очень высоком подъеме урвоня воды в реке.

Ввод в эксплуатацию Иркутского гидроузла не привел к экстремальным изменениям гидрогеологической ситуации. Но именно с этого момента к естественным режимоформирующим факторам присоединились факторы искусственного происхождения, которые заметным образом трансформировали водный баланс грунтового потока и в известной степени деформировали его гидродинамическую структуру. Набор техногенных воздействий довольно обширен, но в конкретных условиях Иркутска наиболее весомое влияние оказали процессы, связанные с увеличением приходных статей водного баланса и технологические новации в использовании геологической среды.

Быстрое развитие водонесущих систем (водопровод в 1956 г. - 74 км, в 1982—418 км) и столь же интенсивная водоподача ($8,8$ и $118,0 \cdot 10^6$ м³/год) сопровождалась утечками, которые возрастали по мере износа трубопроводов от $0,8 \cdot 10^6$ (1956 г.) до $13,2 \cdot 10^6$ м³/год (1982 г.). Одновременно потери из тепловых сетей оцениваются в 25%. Дополнительно к утечкам холодной и горячей воды следует добавить протечки из канализационной системы. Все вместе взятое в виде дополнительного техногенного питания достигает зеркала грунтовых вод, минуя, как правило, фазу формирования верховодки. Действительно, сопоставление глубины укладки трубопроводов (3 м) и суммарной мощности насыпных и супесчаных грунтов на площадках низкого комплекса террас показывает, что на значительной площади водонесущие системы лежат либо на песчано-

гравийно-галечниковых грунтах, либо несколько выше подошвы супесчаного слоя. Верховодка обнаруживается только на площадках среднего комплекса террас, коренных склонах и водоразделах. Этим обстоятельством объясняется не только отсутствие верховодки, но и «запаздывание» подтопления и его последующее прогрессирование. Пока грунтовый поток находился ниже подошвы слабопроницаемых грунтов, техногенная подпитка отводилась в дрена по слою высокой водопроницаемости. Но когда поверхность грунтового потока переместилась в супеси и насыпные грунты, образовались гидродинамические купольные структуры, которые из-за медленного расплывания быстро росли вверх, вызывая в начале локальное, а затем, зачатую, и площадное подтопление. Вблизи естественного дренажа (прибрежная полоса Ангары), где зеркало грунтовых вод обычно находится ниже кровли гравийно-галечникового слоя, подтопления нет.

Помимо потерь из постоянно действующих водонесущих систем, сезонные утечки дает ливневая канализация, особенно если она технически изношена. В этом случае, вместо того чтобы отводить поверхностный сток с территории с преимущественно твердым покрытием [22]), разрушенная ливневка сбрасывает его на уровень грунтового горизонта, увеличивая тем самым высоту и продолжительность «подземного» паводка. Подобная ситуация свойственна территории, занимаемой историческим центром города (рис. 3-16), где вершины гидродинамических куполов залегают на глубине до 0,5 м.

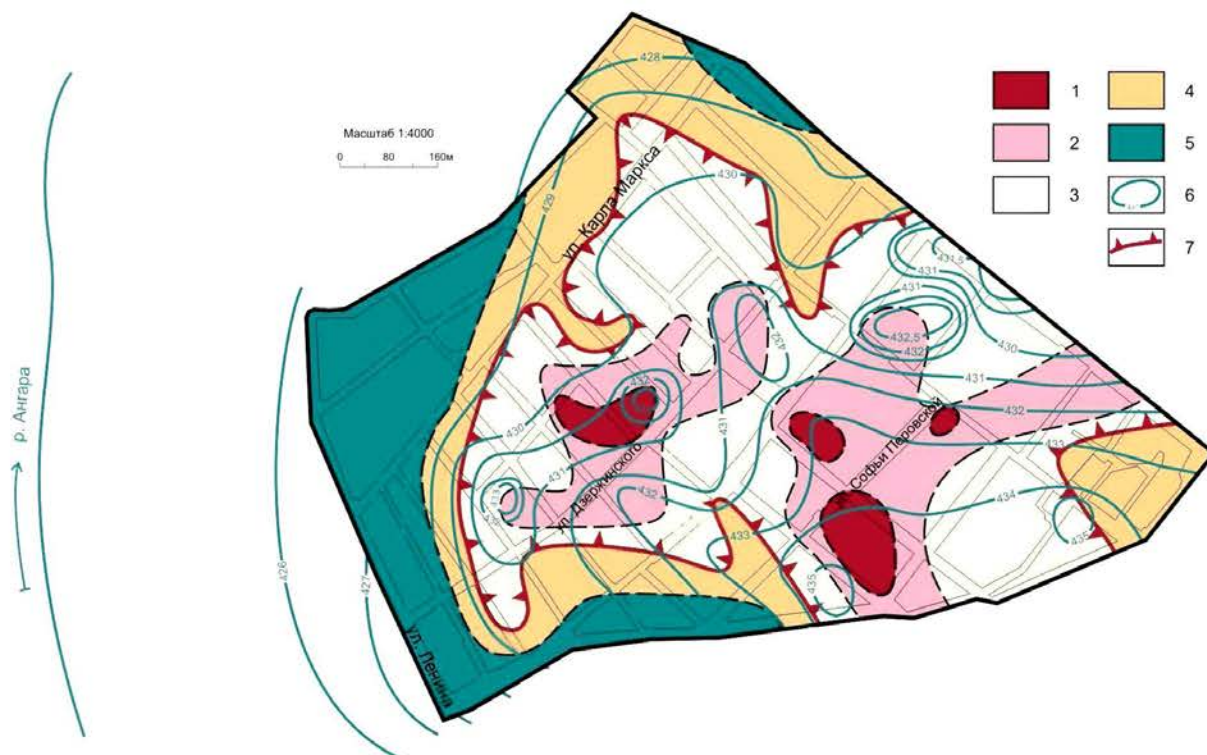


Рис. 3-16. Схема гидроизогипс и глубин залегания грунтовых вод центра г. Иркутска по состоянию на июль 1997 г. (по мат. Шенькман Б.М., Аузина Л.И., Бурдуковский В.А. и др., 1997 г.)

Глубина залегания грунтовых вод, м: 1 – менее 1; 2 – 1-2; 3 – 2-3; 4 – 3-4; 5 – более 4; 6 – гидроизогипса, в абс. отм.; 7 – граница подтопленной площади

Кроме потерь из водонесущих систем постоянного и сезонного характера эпизодическое повышение уровня подземных вод происходит при русловой инфильтрации воды в грунтовый поток. Само по себе это явление не ново: подпор грунтового потока и формирование обратных уклонов до сооружения ГЭС существовали ежегодно во время половодья, паводка и зимнего зазора. Но, несмотря на высокий подъем уровня, его стояние было кратким и поэтому подпор выклинивался вблизи уреза реки.

Зарегулированность стока коренным образом преобразовало гидрологический режим в нижнем бьефе. Так, вместо кратковременных высоких подъемов характерным элементом режима стали уровни средней высоты (1-3 м), образуемые попусками воды из водохранилища, продолжительность стояния которых исчислялась 20-60 сутками. В этих условиях подпор распространялся до цокольного уступа второй надпойменной террасы, т.е. в километре от уреза. В значительной степени широкому распространению подпора благоприятствует малый уклон (0,001) базовой поверхности грунтового потока.

Имеется иное заключение [16]. Аналитический расчет, выполненный по попуску 1995 г. При принятых величинах основных расчетных параметров (высота подъема – 2 м, время стояние подпора – 28 суток, коэффициент фильтрации среды подпора 300 м/сут), выклинивание призмы подпора произошло на расстоянии 300-500 м от уреза реки. Непосредственные наблюдения не согласуются с расчетом, свидетельствуя о занижении ширины призмы подпора. В качестве доказательства сошлемся на наблюдения за режимом уровня подземных вод по скв. 602 за 1968-1972 гг. (рис. 3-17), расположенной в 600 м от уре-

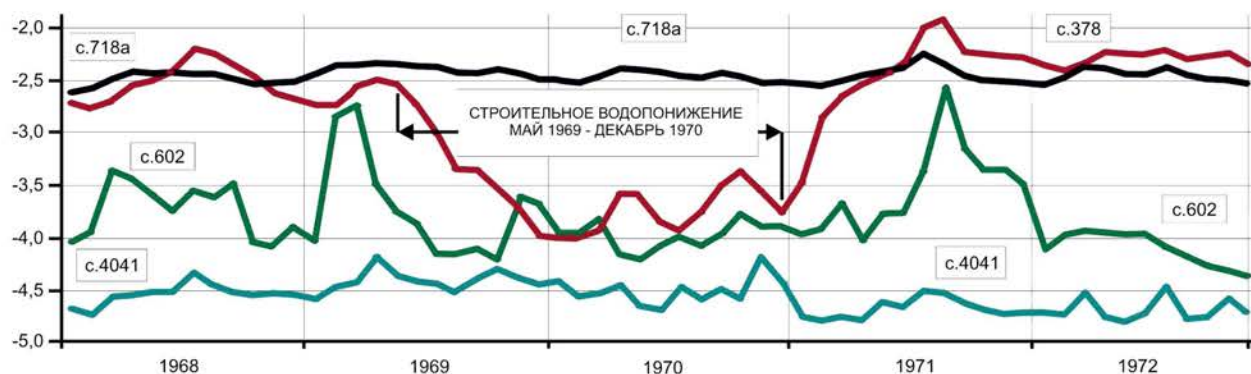


Рис. 3-17. Графики колебания уровня воды в скважинах (1968-1972 гг.)

за. Три другие скважины находятся вне зоны активного проявления подпора, что и подтверждается малыми амплитудами колебания уровня за весь период наблюдений. Глубокое падение по скв. 378 произошло при строительном водопонижении. В январе 1969 и июне 1971 г. был осуществлен продолжительный и крупный сброс воды в нижний бьеф, при котором уровень грунтовых вод на расстоянии 600 м от уреза поднялся на 1,0-1,5 м. Совершенно очевидно, что в рассматриваемом сечении грунтового потока подпор дошел до уступа второй надпойменной террасы, уменьшив глубину залегания зеркала грунтовых вод до 2,5-2,8 м.

Подъем урвенной поверхности возможен и без участия техногенного питания, а исключительно за счет барражирования грунтового потока. На правобережье Ангары плотинный эффект оказывают потопленные подземные инженерные сети совместно с грунтами обратной засыпки, свайные поля, технические этажи зданий, заглубленных ниже уровня подземных вод, облицованные набережные. Особенно эффектно барражирование проявилось на участке строительства Торгового центра. Подземная часть здания была заглублена на 7,5 м, так что водоносный горизонт отложений второй надпойменной террасы вскрывался на всю мощность. После закладки технического этажа строительное водопонижение было прекращено и началось восстановление уровня. И если в наблюдательной скважине, расположенной вне влияния откачки (скв. 84), к концу 25-летнего периода от начала наблюдений среднегодовой уровень поднялся на 0,7 м, то в зоне барражирующего воздействия подъем составил 1,2 м (скв. 378).

Веским свидетельством в пользу барража можно считать подтопление ранее сухих погребов в домах усадебной застройки, попавших в зону подпора, образованную торговым центром. На устьевом участке долины р. Ушаковки, где подпор со стороны Ангары почти не проявляется, можно выделить по крайней мере четыре зоны с различной глубиной залегания грунтовых вод. Размер естественно подтопленной территории (до 3 м), занимает до 45% гидрогеологически изученной площади (данные 214 кондиционных скважин). Сюда входят сильно подтопленные фрагменты низкой (менее 1 м) и высокой поймы (1-2 м) и первой надпойменной террасы (2-3 м). Остальные 55% освоенной территории приходится на площадку второй террасы.

Гидрогеологическая ситуация на левобережье Ангары выглядит несколько иначе. Прежде всего, попуски гидроузла подпирают грунтовый поток не в отложениях надпойменных террас, а поймы. Ширина призмы подпора здесь существенно меньше, чем на мысовом окончании Ангаро-Ушаковского междуречья в основном из-за пониженной водопроницаемости песчаного и гравийно-галечникового слоев. В районе пос. Жилкино подъем уровня в январе-феврале 1980 г., в 60 м от уреза Ангары не превысил 0,8 м. В тоже время в 300 м наблюдалось снижение уровня до годового минимума. Из этого следует, что на левобережье влияние попусков ограничивается узкой прибрежной полосой, за которой динамика урвенной поверхности грунтового потока определяется в основном гидрометеорами теплого периода года. Не случайно в годовой ходе уровня имеется всего один подъем и один спад с максимумом в июне-июле, чего нет непосредственно в узкой прибрежной полосе. Существует мнение, что приходящая часть водного баланса грунтового потока на левобережье увеличилась за счет полива аграрном пригородно-городском секторе и техногенных водоемов. Сопоставление материалов крупномасштабной гидрогеологической съемки 1961-1963 гг. с результатами обследования 1985-1995 гг., выполненных пригородной зоне показало, что сведение леса и возникновение на его месте садоводств привело к исчезновению многочисленных источников. Оставшиеся родники резко уменьшили дебит, несмотря на систематический полив. Что же касается водоемов, площадь которых, главным образом на устьевом участке пой-

мы р. Иркута, с 1972 по 2007 г. возросла с 9 до 90 гектар, то питание грунтовых вод из них представляется маловероятным. Дно водоемов выстелено илистым грунтом мощностью более одного метра. При зондировке этого слоя было установлено, что с глубиной с большим вертикальным градиентом уменьшается окислительно-восстановительный потенциал: ниже дна на 0,6 м он равен +126 мВ, через 0,4 м - уже -48 мВ. При этом в водной массе обстановка резко окислительная: Eh от +455 до +464 мВ. Справедливо предположить, что существование слоя с резко восстановительной обстановкой указывает на невозможность сколько-нибудь значимой инфильтрации. Этот вывод подтверждается также промерзанием до дна мелких водоемов без образования зависшего льда и избыточным напором над кровлей водоносного горизонта вне затопленных площадей. Там, где пойменная фация не перекрывает русловую, ничто не препятствует инфильтрации атмосферных осадков.

На площадке третьей террасы размещается промзона и значительная часть жилого сектора, представленного по большей части многоэтажной застройкой, где до 1960 г. проблема подтопления не существовала. По мере развития водонесущих систем, роста водопотребления, износа водоводов, увеличения глубины использования геологического пространства, постепенный переход с ленточного на свайный фундамент, создание помех транзитному склоновому стоку – все это вместе взятое привело к повышению уровня грунтовых вод с 10-11 м в 1955 до 1 м к 2010 г. Как было показано ранее, этому процессу благоприятствовало повышенная водопроницаемость пород зоны аэрации. Подъем зеркала грунтовых вод выразился двояко: в повсеместном примерно равном повышении базовой поверхности и локальном куполообразовании. Этим и объясняется пространственная разобщенность подтопленных площадей, число которых к 2000 г. достигло во II Иркутске 4 (рис. 3-18) и в настоящий момент еще больше. Степень разобщенности подтопляемых участков очень высока, что легко показать на примере промзоны авиазавода. При близких отметках поверхности земли глубина залегания уровня воды в 2001 г. под цехом 10 равнялась 1,5 м, а под корпусом 99А, стоящим в непосредственной близости к уступу террасы -10,5 м.

Подтоплением застроенных площадей на поверхности поймы, низкого и среднего комплекса террас дело не ограничилось. Примерно с конца 60-х годов прошедшего столетия началась застройка склонов и водораздельных долин рек Ангары, Иркута, Ушаковки и Каи. Эта часть гидрогеологического разреза, сложенная полускальными породами, глубоко сдренирована и поэтому участие зоны насыщения в подтоплении исключается. Вместе с тем, в силу фациальной неоднородности пород, слагающих зону аэрации, в ее пределах на локальных водоупорах накапливается гравитационная влага в виде маломощных линз. При аварийных утечках из водонесущих систем и в годы особенно высокого увлажнения формируется природно-техногенная верховодка, которая отличается от подвешенных линз неглубоким залеганием и малым временем существования. Ущерб от такого рода подтопления может быть существенным, как это имело место на площадке многоэтажной застройки в микрорайоне Университетском.

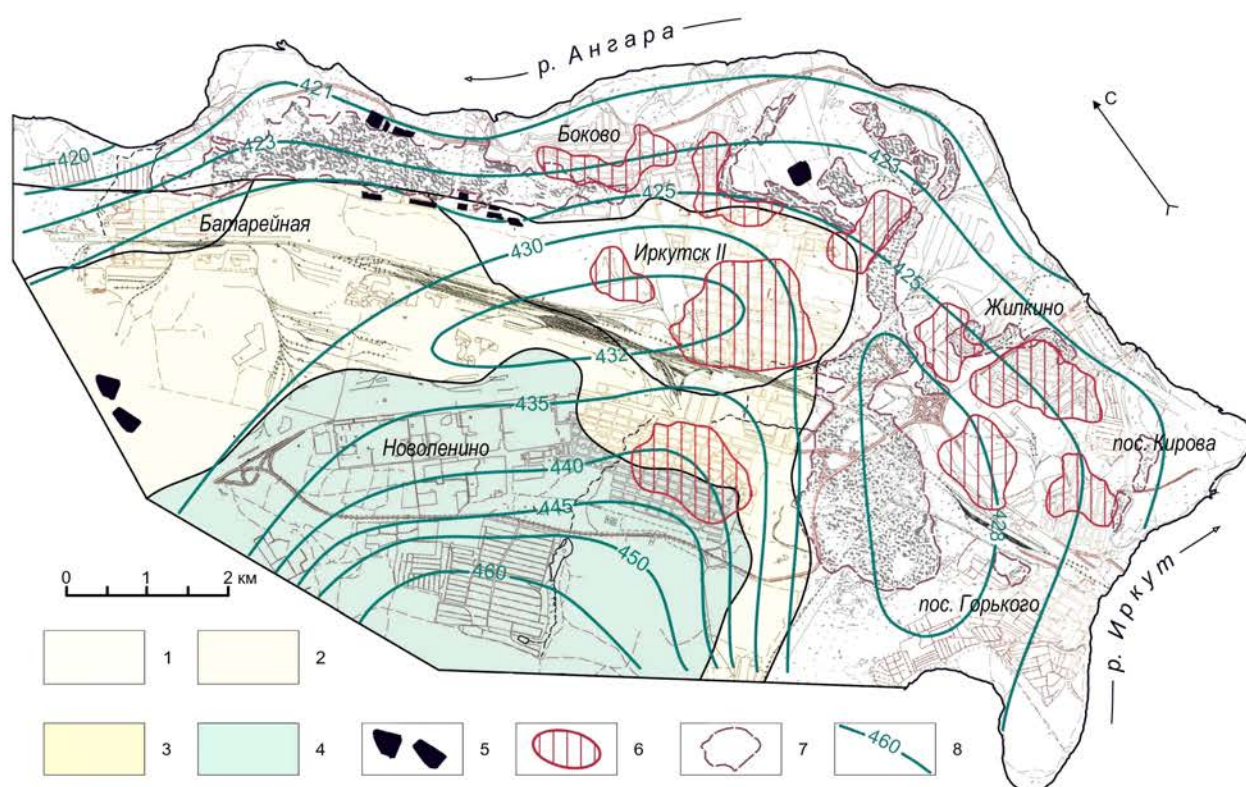


Рис. 3-18. Схема гидроизогипс грунтового потока четвертичных и юрских отложений на левобережье р. Ангары

1- пойма; 2- II надпойменная терраса; 3- III надпойменная терраса; 4- коренной склон; 5- отстойники; 6- подтопленные участки; 7- заболоченность; 8- гидроизогипс, абс. отм.

Итак, подтопление застроенной территории города происходит при участии дополнительного техногенного питания. По времени воздействия оно подразделяется на постоянное (обходная фильтрация и штатные потери из водопровода, теплотрасс, канализации), сезонное (ливневая канализация) и случайное (аварийные утечки, попуски из водохранилища). Подпорные явления, в свою очередь, уменьшая уклоны грунтового потока, способствуют подъему уровенной поверхности. Перечисленные факторы искусственного происхождения тем не менее не смогли нарушить сколько-нибудь заметно годовой и многолетний ход уровней, свойственный естественному режиму подземных вод. В границе застроенной территории основные фазы уровенного режима мало чем отличаются от территорий с ненарушенным либо слабо нарушенным естественным уклоном. Подобная сходимость означает, что вклад естественного увлажнения в подтоплении является определяющим, поскольку обеспечивает базовое положение зеркала грунтовых вод. Но если уровенная динамика так тесно связана с увлажнением, следовательно, изменение суммы атмосферных осадков должно отражаться на гипсометрическом уровне поверхности грунтового потока. На рис. 3-19 изображен график количества осадков за 110-летний период наблюдений, из которого видно, что примерно до середины 30-х гг. прошлого века увлажнение было ниже среднемноголетнего.

В последние 75 лет количество осадков превышало норму. В обоих временных периодах наблюдалась квазициклическость с глубоким подъемом и спа-

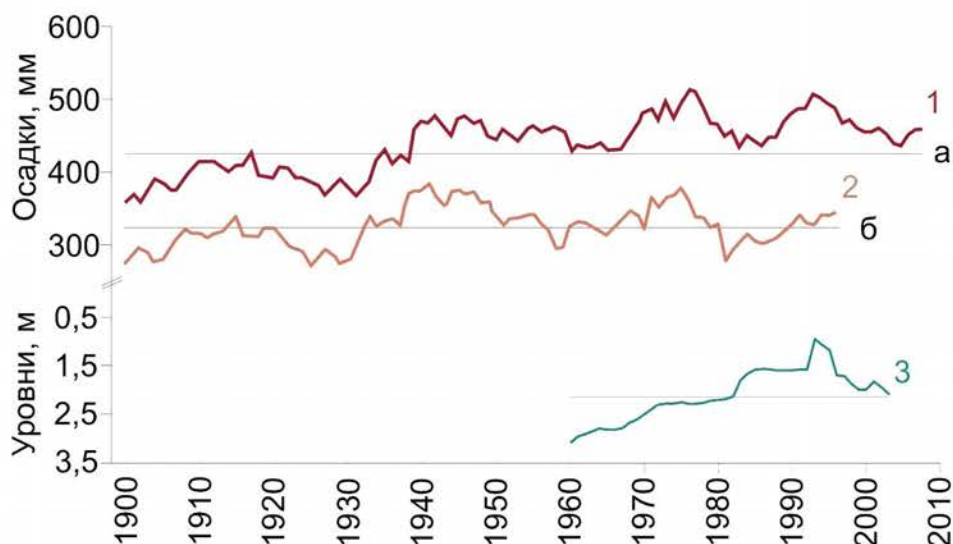


Рис. 3-19. Количество атмосферных осадков в Иркутске

Средняя из скользящих десятилетий: 1 – годовое; 2 – теплого периода; Средняя многолетняя величина: а – годовая; б – теплого периода; 3 – глубина уровня подземных вод в скв. 378

дом. Сумма осадков низкой обеспеченности (5-10 %) зафиксирована в 1901, 1906, 1912, 1915, 1924, 1932, 1938 и 1971 гг. Отметим, что уровенная поверхность грунтового потока коррелятивно откликнулась на временную неустойчивость увлажнения. При анализе временного отрезка совместных наблюдений продолжительностью 44 г. (скв. 378) удалось выяснить следующее. Начиная с 1960 по 1975 г. происходил непрерывный подъем уровня в полном соответствии с увеличением суммы осадков теплого периода года. Уровень продолжал повышаться, хотя осадки начали устойчиво снижаться. Смена коррелятивного знака означает, что продолжение подъема уровня обеспечивается преимущественно барражным эффектом заглубленного технического этажа торгового центра. Когда подпор динамически сформировался, корреляция вновь стала положительной. Таким образом, на застроенных территориях режим уровней первого от поверхности водоносного горизонта не утратил основных черт, свойственных ненарушенному естественному фону. Этот вывод не следует игнорировать, составляя прогнозы и, следовательно, при разработке проектных решений по инженерной защите застроенных и застраиваемых территорий от подтопления грунтовыми водами.

Прогноз пространственного положения уровенной поверхности грунтового потока приемлемой оправдываемости возможен при наличии качественных предикторов. Известны попытки заблаговременных предсказаний [9,52], основанные главным образом на положительной динамике уровней и линейном тренде. При таком подходе город обречен на подтопление без инженерной защиты с нормой осушения 3 м. В действительности поведение уровня подземных вод значительно сложнее. Прежде всего, отсутствует перманентный подъем. Напротив, повышения чередуются со спадами, образуя тренд явно нелинейного характера. Во-вторых, в среднесрочной перспективе неизбежно должно

произойти существенное снижение техногенного питания за счет сведения к минимуму утечек из водонесущих систем.

Следовательно, в годы спада уровни могут снижаться до нормы осушения, что и наблюдается в действительности. Одновременно существует две устойчивые тенденции, которые способствуют повышению уровня грунтовых вод одна из них – использование свайных фундаментов на естественно подтопленных территориях (пойма Ангары и Иркута) и на площади распространения обводненных отложений третьей надпойменной террасы. Свайные поля, уменьшая площадь «живого» сечения грунтового потока, одновременно уплотняют водовмещающие породы. Снижение фильтрационных свойств компенсируется увеличением мощности потока, т.е. повышением уровня и сдвигом ситуации в сторону подтопления. На естественно подтопленных площадях свайное поле сооружается на изолированной подсыпке высотой до 2-3 м. Считается, что подсыпка полностью исключает подтопление. Однако не все так просто – здесь начинает проявляться вторая тенденция. Она заключается в следующем. В ненарушенном состоянии средняя глубина сезонного промерзания равна 1,44 м, а при глубине залегания подземных вод на большей части территории не превышает 0,5 м. При промерзании зоны насыщения грунтовые воды приобретают напор, что приводит к увеличению оттока в дренирующую систему, основу которой составляет Ангара и Иркут. На застроенных участках сезонное промерзание отсутствует. Следовательно, в промороженном поле образуются сезонно-техногенные талики, своего рода локальные участки восходящей разгрузки. Подъему уровенной поверхности способствует и материал подсыпки: вместо хорошо фильтрующих грунтов обычно используют грунтовую массу из котлованов и строительные отходы. Сделанный вывод не из разряда предположений. Он подтвержден натурными наблюдениями: в скважинах, расположенных у основания ограждающей дамбы золоотвала авиазавода, в процессе сезонного промерзания уровень устанавливается выше поверхности земли, поскольку под накопителем отсутствует мерзлота из-за повышенной температуры пульпы.

В качестве некоторого заключения можно подытожить: подтопление городской территории продолжается, развитие происходит на локальных участках с различной скоростью. Наиболее медленно подъем уровня грунтовых вод происходит в зоне подпора водохранилища Иркутской ГЭС, где преобладает капиллярное подтопление. В периферийной полосе, где застройка преимущественно коттеджная, подтопление прогрессирует за счет водоотведения в многочисленные слабо фильтрующие выгребы. Массовое многоэтажное строительство на пойменных участках Ангары и Иркута неизбежно приведет к подъему уровенной поверхности грунтовых вод до отметок, близких к поверхности земли. Предполагается, что особенно опасным будет участок примыкания со стороны нижнего бьефа к правобережному плечу плотины Иркутской ГЭС.

ГЛАВА 4. КАЧЕСТВЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

4.1. Естественная минерализация, химический состав и пространственная зональность подземных вод

Территория города в гидрогеологическом отношении изучена относительно хорошо: номинальная глубина исследований охватывает весь осадочный чехол, но наиболее полно обследована верхняя часть разреза до глубины примерно в 1200 м. Детальность гидрогеодинамического и гидрогеохимического опробования с глубиной уменьшается приблизительно по экспоненте. Наибольшая плотность учтенных водопунктов размещается в верхней части гидрогеологического разреза до глубины 200-300 м. Химический состав подземных вод здесь сформировался в естественной природной обстановке, которую определяли основные обменные процессы в виде взаимодействия воды и горной породы. Обобщение имеющегося фактического материала позволяет сделать некоторые заключения и дать вполне конкретную характеристику природного химического состава подземных вод верхней части разреза.

Для рассматриваемой городской территории характерна вертикальная и горизонтальная гидрохимическая зональность подземных вод. Первая проявляется наиболее отчетливо и выражается в изменении химического состава и минерализации подземных вод. Вторая представлена главным образом изменением минерализации воды в пределах одного химического типа. Ранее гидрохимический разрез рассматриваемых юрских и четвертичных отложений был освещен в ряде работ [Пиннекер, 1958, 1962, 1976, 1995; Ломоносов И.С. и др., 1959; Шенькман, 1967, 1969, 1997, 2002], отчетах Бондаренко Л.Н. (1972 г.), Гинина В.В. (1975 г.), Лумпова И.А. (1991 г.), Шенькмана Б.М. (1967, 1978, 1985, 1997 гг.), Пугача С.Л. (1960 г.), Сироткина Л.А. (1964 г.) и др. по границам Прииркутской впадины, в настоящей работе дополняется современными актуальными данными. Обобщение фактического материала непосредственно в городских границах гидрогеологической структуры позволило уточнить и детализировать гидрохимический разрез, которых в настоящее время представляется в виде трех поясов. Сверху вниз первым поясом распространяются пресные воды с минерализацией до 0,1 г/л ультрапресные – гидрокарбонатные натриевые, кальциево-натриевые; 0,3-0,6 г/л гидрокарбонатные кальциево-магниево-натриевые; 0,3-1,0 г/л гидрокарбонатные натриевые. Вторым поясом – солоноватые хлоридные натриевые воды с минерализацией 1-10 г/л. Третьим поясом – соленые хлоридные натриевые воды с минерализацией более 10 г/л. (рис. 4-1, табл. 4-1)

Мощность пояса пресных вод в пределах зоны насыщения ранее оценивалась в 300-550 м в области питания и до 100-150 м в удалении от нее и в случае подтока соленых вод [Пиннекер, 1968]. Последующие работы показали, что даже в наиболее благоприятных условиях мощность пояса пресных вод не превышает 220 м, а на участках подтока соленых вод (долины рек Ангары и Иркутта) по тектоническим ослабленным зонам, со стороны платформенной части иркутского артезианского бассейна и Кудинской депрессии она снижается до

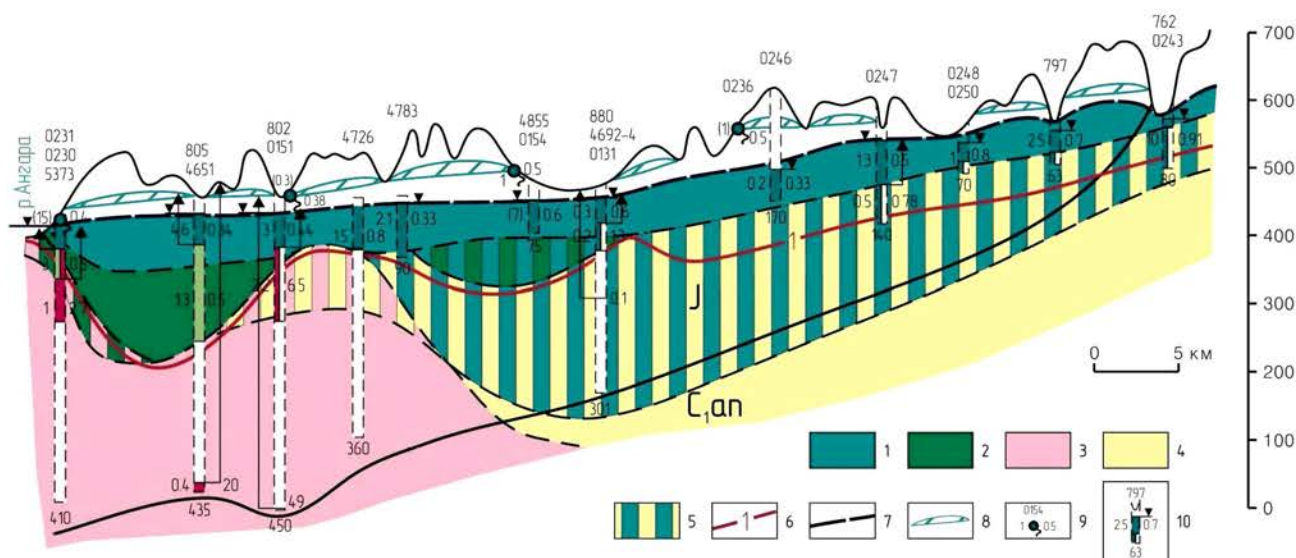


Рис. 4-1. Общий гидрогеохимический разрез части Прииркутской впадины (по р. Ангаре и Куде) [88]

Химический состав воды: 1 – $\text{HCO}_3\text{Ca-Mg}$, 2 – HCO_3Na , 3 – ClNa , 4 – SO_4ClNa , 5 – смешанный; 6 – изогалина до 1 г/л; 7 – пьезометрический уровень подземных вод; 8 – обводненная линза; 9 – родник, сверху номер, слева дебит в л/с, справа минерализация в г/л; 10 – скважина, сверху номер, слева дебит в л/с, справа минерализация в г/л, внизу глубина в м.

~30 м [Шенкман, 1967]. Завышение мощности первого пояса в прошлом связано с недостаточно полным учетом всех обстоятельств, предшествующих отбору проб воды (конструкция скважины, глубина вскрытия водоносного горизонта, способ производства опытных работ и др.). В природных условиях рассматриваемой структуры истинную оценку мощности пояса пресных вод в большинстве случаев можно провести лишь при интервальном опробовании.

Структура пояса пресных вод в пределах городской территории и ее ближайших окрестностей целиком определяется условиями формирования солоноватых и соленых вод. В области питания и на обширных междуречных пространствах, где соленые воды образуются в результате бокового или медленного диффузного вертикального подтока, граница между пресными и солоноватыми водами практически горизонтальная и соответствующие пояса обладают максимальной мощностью. Мощность же пояса соленых вод невелика, а в отдельных случаях соленые воды, по-видимому, вообще отсутствуют. Несколько иная картина наблюдается в долинах крупных рек, совпадающих с тектонически ослабленными зонами, по которым осуществляется энергичный вертикальный подток минерализованных вод. Поэтому в долинах рек отмечается резкое сокращение мощности пресных вод, причем на локальных участках они могут вообще отсутствовать (гидрогеохимическая карта, рис. 4-2).

Описываемые закономерности городской территории являются частью гидрогеохимической характеристики впадины, в которой фактически уменьшение минерализации подземных вод происходит с запада на восток в верхней и с

СХЕМАТИЧЕСКАЯ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ КАРТА

МАСШТАБ 1:25000

0 2,5 км

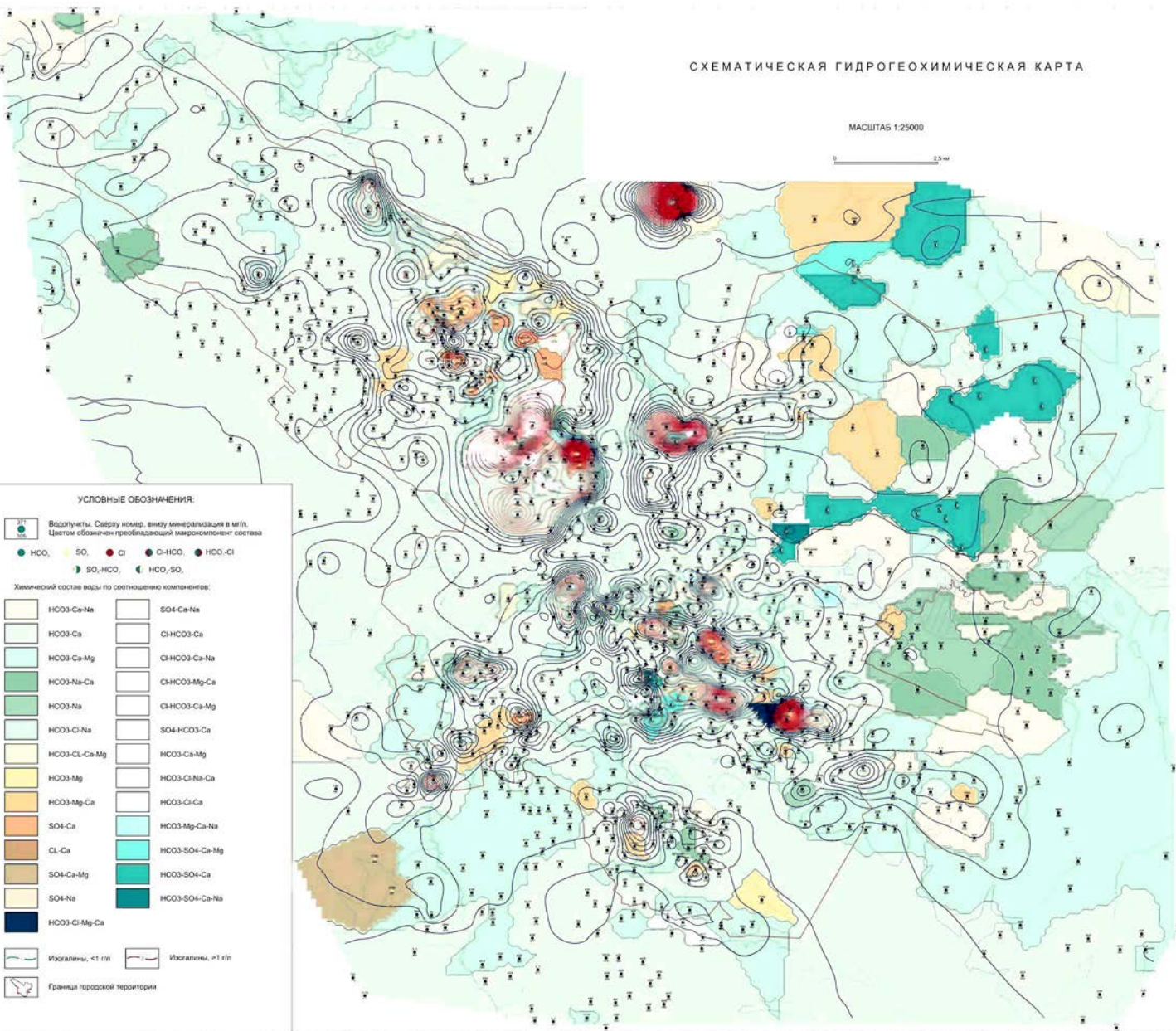
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- Водораздел. Сверху номер, внизу минерализация в мг/л.
Цвета обозначают преобладающий макроэлемент состава
- HCO₃ ● SO₄ ● SO₄ ● Cl ● Cl-HCO₃ ● HCO₃-Cl
● SO₄-HCO₃ ● HCO₃-SO₄

Химический состав воды по соотношению компонентов:

HCO ₃ -Ca-Na	SO ₄ -Ca-Na
HCO ₃ -Ca	Cl-HCO ₃ -Ca
HCO ₃ -Ca-Mg	Cl-HCO ₃ -Ca-Na
HCO ₃ -Na-Ca	Cl-HCO ₃ -Mg-Ca
HCO ₃ -Na	Cl-HCO ₃ -Ca-Mg
HCO ₃ -Cl-Na	SO ₄ -HCO ₃ -Ca
HCO ₃ -Cl-Ca-Mg	HCO ₃ -Ca-Mg
HCO ₃ -Mg	HCO ₃ -Cl-Na-Ca
HCO ₃ -Mg-Ca	HCO ₃ -Cl-Ca
SO ₄ -Ca	HCO ₃ -Mg-Ca-Na
Cl-Ca	HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Mg
SO ₄ -Ca-Mg	HCO ₃ -SO ₄ -Ca
SO ₄ -Na	HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Na
HCO ₃ -Cl-Mg-Ca	

- Изогалиты, <1 г/л
- Изогалиты, >1 г/л
- Граница городской территории



юго-запада на северо-восток в нижней части рассматриваемого пояса. В первом случае различия в величине минерализации обусловлены главным образом повышенной увлажненностью восточной окраины, примыкающей к возвышенным территориям. Как правило, эта часть гидрохимического разреза контролируется глубиной эрозионного вреза основных притоков р. Ангары. Во втором случае изменение минерализации предопределено в основном структурными особенностями артезианского бассейна в целом. Моноклинальное залегание водовмещающих пород на северо-востоке и горизонтальное на юго-западе обусловило различия во взаимном положении области питания и разгрузки и, следовательно, в темпе водообмена.

Влияние структурного фактора на изменение минерализации в равной мере характерно для солоноватых и соленых вод. При этом направление увеличения минерализации остается прежним, с северо-востока на юго-запад. Солоноватые воды имеют повсеместное распространение, слагая большую часть гидрохимического разреза с глубины ~200 м. Мощность пояса изменяется от 200 до 400 м. Резкое его сокращение (до 80-100 м) наблюдается в долинах крупных рек, где недалеко от поверхности залегают соленые воды. Увеличение мощности пояса солоноватых вод связано с увеличением мощности юрских отложений. Изменение минерализации воды по разрезу обычно невелико (от 1 до 5 г/л) и по имеющимся данным нигде не достигает верхнего предела. Переход пресных вод в солоноватые происходит плавно, и граница по величине минерализации является одновременно границей между различными химическими типами подземных вод. Смена солоноватых вод солеными носит скачкообразный характер, причем первые переходят во вторые, не достигнув предельной концентрации. Наоборот, начальная минерализация соленых вод обычно равна 15-20 г/л.

Пояс соленых вод приурочен к самым низам юрских отложений и обладает мощностью, не превышающей 130-140 м. В долинах крупных рек мощность пояса резко повышается до 200-300 м за счет интенсивной вертикальной миграции рассолов по тектонически ослабленным зонам. В отличие от солоноватых вод, соленые воды по имеющимся сведениям не имеют повсеместного распространения в интересующих нас границах и прилегающих окрестностях.

В целом гидрохимическому разрезу юрских и четвертичных отложений свойственен ряд особенностей. Так, в черте города довольно хорошо прослежена вертикальная зональность по величине минерализации (рис. 4-3). В интервале глубин 650-1200 м, в карбонатных породах нижнего кембрия, вскрыты несколько водоносных комплексов, содержащих слабые (35-62 г/л) хлоридные натриевые сероводородные рассолы, используемые в качестве купальных минеральных вод. Выше залегает толща пресноводных угленосных отложений юрского возраста с этажно залегающими водоносными комплексами. Отличительная особенность юрской толщи состоит в несоответствии состава пород и подземных вод. В базальном слое этих отложений находятся соленые воды (до 35 г/л), аналогичные таковым в карбонатной толще. Помимо сходного облика водоносные комплексы имеют и близкие пьезометрические поверхности. Вне базального слоя минерализация воды вверх по разрезу быстро падает, умень-

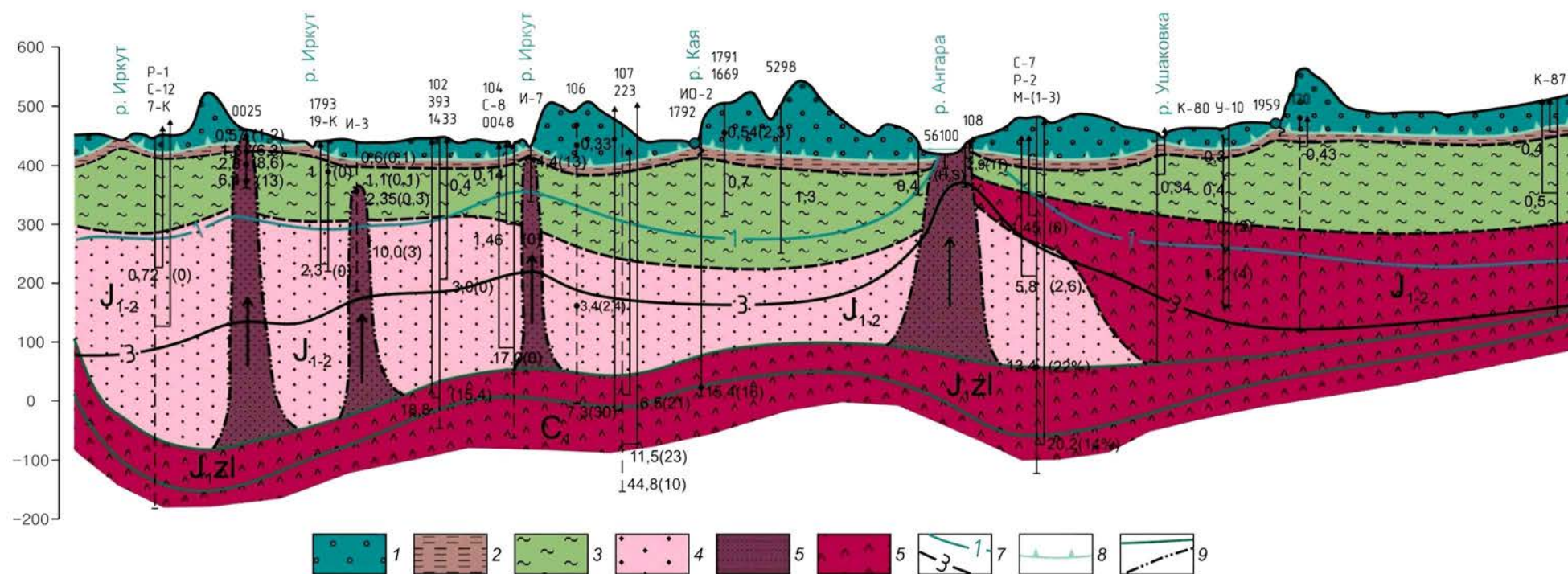


Рис. 4-3. Гидрогеохимический разрез территории г. Иркутска [по мат. Шенькмана Б.М, Сироткина Л.А., Шурыгина Б.Л., 1969-2008 г.]

Химический состав воды: 1 – $\text{HCO}_3 \text{ Ca-Mg}$; 2 – $\text{HCO}_3 \text{ Ca-Mg}$ (железистые); 3 – $\text{HCO}_3 \text{ Na}$ (содовые); 4 – Cl Na (безсульфатные); 5 – $\text{SO}_4 \text{ Cl}$ (сероводородные); 6 – $\text{SO}_4 \text{ Cl Na}$; 7- изогалины; 8 – граница глеевого горизонта; 9 – границы литологических подразделений сплошной, линиями с прерываниями выделены элементы гидрогеохимической стратификации

шаясь в интервале 300 м до 1 г/л, сохраняя при этом хлоридный натриевый состав. Здесь сосредоточен неисчерпаемый ресурс минеральных вод столового типа. Важной особенностью соленых и солоноватых вод является бессульфатность и насыщенность метаном. Выше по разрезу на хлоридных залегают пресные гидрокарбонатные воды, натриевые внизу, кальциево-магниевые сверху. Гидрогеохимические границы субгоризонтальны и преимущественно контрастны. И только в днищах долин рек Ангары и Иркутта отчетливо выражена азональность в виде крутой купольной структуры, в ядре которой находятся воды смешанного состава с весомой долей участия всех гидрогеохимических зон. Поэтому в непосредственной близости от поверхности земли вскрываются воды с высоким содержанием не только хлоридов, но и сульфатов. В области с глубокой восходящей разгрузкой смешение сопровождается активно протекающей сульфатредукцией и воспроизводством сероводорода в количествах, существенно превышающих его содержание в рассолах.

Формирование химического состава подземных вод опишем согласно их распространению по указанным выше поясам. Гидрохимический разрез ультрапресного пояса представлен двумя химическими типами подземных вод – гидрокарбонатным и хлоридным. Хлоридный тип характеризуется однородностью катионной группы, что соответствует единому источнику солевого состава и единому процессу, обеспечивающему переход минерального вещества в раствор. Гидрокарбонатные воды, наоборот, являются неоднородным по составу катионной группы, что нашло свое отчетливое выражение в вертикальной зональности внутри единого гидрохимического типа. Зональность в пределах пояса пресных вод весьма заметно прослеживается по величине максимальных, минимальных и средних значений минерализации, концентрации сульфатов, хлоридов и кремнекислоты (табл. 4-1) и характеру микрокомпонентного ком-

Таблица 4-1

Изменение некоторых компонентов состава подземных вод

Наименование	Водоносные горизонты и комплексы								
	Подвешенный грунтовый			Межпластовый грунтовый			Напорный		
	Химический состав воды								
	HCO ₃ -Na-Ca-Mg			HCO ₃ -Ca-Mg			HCO ₃ -Na		
	Значения								
	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>среднее</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>среднее</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>среднее</i>
<i>M</i> , мг/л	590	30	238	668	192	405	980	240	530
<i>SO₄</i> , мг/л	37,2	0	9,7	22,6	0	5,3	55	0	11,8
<i>Cl</i> , мг/л	28,4	2,4	9,1	22,3	2,1	7,6	67	0	16,3
<i>Na</i> , %-ЭКВ	-	-	19	-	-	22,4	-	-	83
<i>SiO₂</i>	25	12	16	16	10	12	12	7	10

плекса (табл. 4-2). Зона развития гидрокарбонатных вод имеет единый источник солевого состава – водовмещающие породы. Поэтому объяснение неоднород-

Таблица 4-2

Микрокомпоненты состава подземных вод (по водоносным подразделениям)

Водоносный горизонт	Распределение элементов	Элементы микрокомпонентного состава, мкг/л																
		<i>Cu</i>	<i>Ya</i>	<i>Ni</i>	<i>Be</i>	<i>Sr</i>	<i>Mn</i>	<i>Ba</i>	<i>Sn</i>	<i>Cd</i>	<i>V</i>	<i>Cr</i>	<i>Ti</i>	<i>Zr</i>	<i>Zn</i>	<i>Fe</i>	<i>Pb</i>	<i>Co</i>
Подвешенный грунтовый	Пределы измерения	0	1	1	0	1-30	1-100	30-100	0.5-1	1-30	0.5-1	1-1.5	1-30	0	1-30	0	1-30	1-3
	Среднее значение	0	1	1	0	9.7	18	43	0.7	6.7	0.8	1.2	7	0	13	0	7	1.7
	Встречаемость, %	0	92	27	0	42	92	69	8	27	11	11	54	0	85	0	31	11
Межпластовый грунтовый	Пределы измерения	0.2-0.6	0.2-2	1-10	0.2-1	1-100	1-00	30-100	0.5-30	1-3	0	0.5-3	1-100	2-12	3-40	12-400	1-10	0
	Среднее значение	0.4	0.9	2.8	1	20	57	74	8.4	2	0	1.2	17.6	8.9	11.4	120	4	0
	Встречаемость, %	24	80	52	14	80	87	59	17	10	0	33	85	38	48	24	28	0
Напорный	Пределы измерения	0.2-1.2	0.2-2	1-10	1	1-100	1-100	10-100	0.5-1.5	0	0.5	0.5-1.5	1-100	4-12	1-40	4-240	0	0
	Среднее значение	0.5	0.7	3.7	1	44	63	84	1	0	0.5	1	15	8.7	20	143	0	0
	Встречаемость, %	33	66	66	13	86	93	66	20	0	13	47	100	40	47	33	0	0

ности следует искать в расшифровке процессов, определяющих форму взаимодействия твердой и жидкой фаз. Несомненно, что наличие вертикальной зональности в пределах единого гидрохимического типа определенным образом связано с гидродинамической зональностью. Это в свою очередь означает, что на различном гипсометрическом уровне протекают процессы хотя и приводящие к образованию единого гидрохимического типа, но имеющие различную природу. Последнее необходимо иметь в виду при рассмотрении закономерностей формирования состава пресных подземных вод.

Ультрапресные гидрокарбонатные натриевые и кальциево-натриевые воды. Подземные воды с минерализацией менее 0,1 г/л развиты в бассейнах р. Ушаковки и левобережных притоков р. Куды. Пространственно они связаны с подвешенным грунтовым водоносным комплексом, размещаясь в самой верхней части гидрогеологического разреза. Многочисленные родники, дренирующие эти воды, приурочены к наиболее высоким гипсометрическим уровням (рис. 4-4). Минерализация ультрапресных вод обычно равна 60-80 мг/л

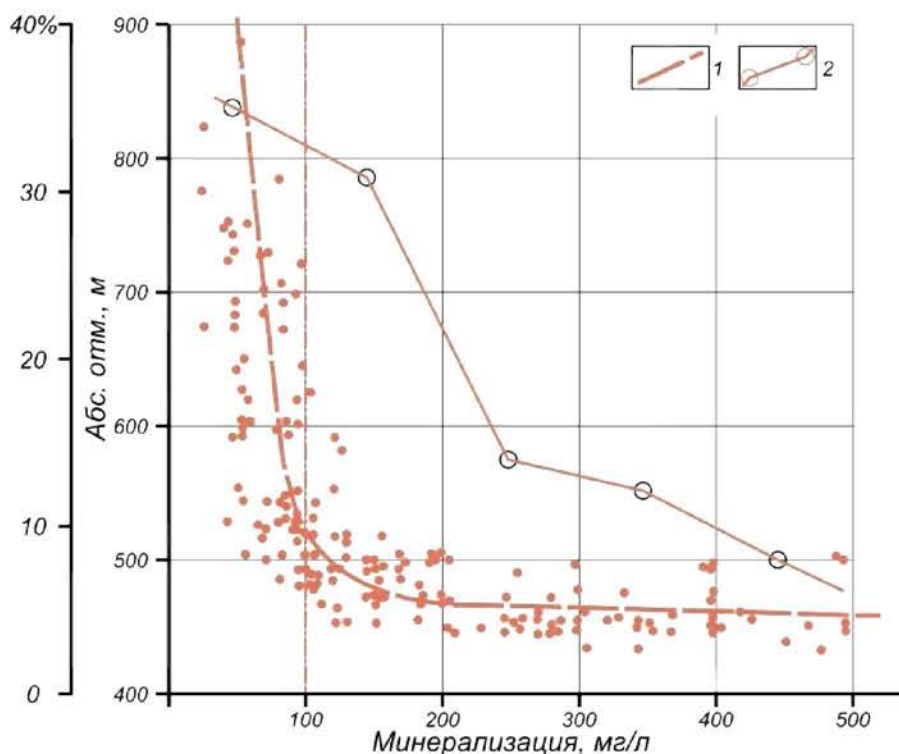


Рис. 4-4. Взаимосвязь величины минерализации и гипсометрическим положением источника

1 — средняя кривая связи; 2 — кривая распределения источников по величине минерализации

изредка снижаясь до 30-40 мг/л, что весьма близко к таковой атмосферных осадков (табл. 4-3). Правда, приведенные в таблице значения характеризует собственно район, испытывающий интенсивное промышленное загрязнение атмосферы. К востоку и северо-востоку от Ангары минерализация осадков скорее всего снижается до 10-15 мг/л, что хорошо видно уже из данных табл. 4-3.

Таблица 4-3

Результаты химического анализа дождевых осадков

Место отбора пробы	Дата отбора	Содержание, мг/л							Формула химсостава
		HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na	M	
Иркутск	21.3.10	11,4	2,26	3,87	2,25	1,64	2,21	23,7	HCO ₃ 54Cl32SO ₄ 14/ Mg39Ca22Na28
Иркутск-Куда	21.3.10	24,4	1,6	3,2	6,21	0	5,12	40,6	HCO ₃ 77Cl17/ Na52Ca48
Иркут	5.4.16	12,2	15,6	3,13	2,38	1,16	6,87	41,3	SO ₄ 53HCO ₃ 33Cl14/ Na65Ca19Ng16

Химический состав ультрапресных вод гидрокарбонатный натриевый и кальциево-натриевый. Содержание натрия обычно колеблется от 60 до 90%-экв. Концентрация хлора довольно постоянная и равна 3-4 мг/л, что соответствует его содержанию в атмосферных осадках. Диапазон изменения сульфатов довольно высок: от 0,0 до 14 мг/л. Даже средняя концентрация сульфат-иона несопоставима с таковой в дождевых осадках. Кремнекислота (SiO₂) обычно присутствует в количествах 20-25 мг/л. Для ультрапресных вод свойственны высокие значения растворенного кислорода (8-12 мг/л). Возрастание его концентрации происходит с увеличением абсолютных отметок залегания подземных вод (рис. 4-5), и, следовательно, уменьшением их минерализации. Зависимость эта

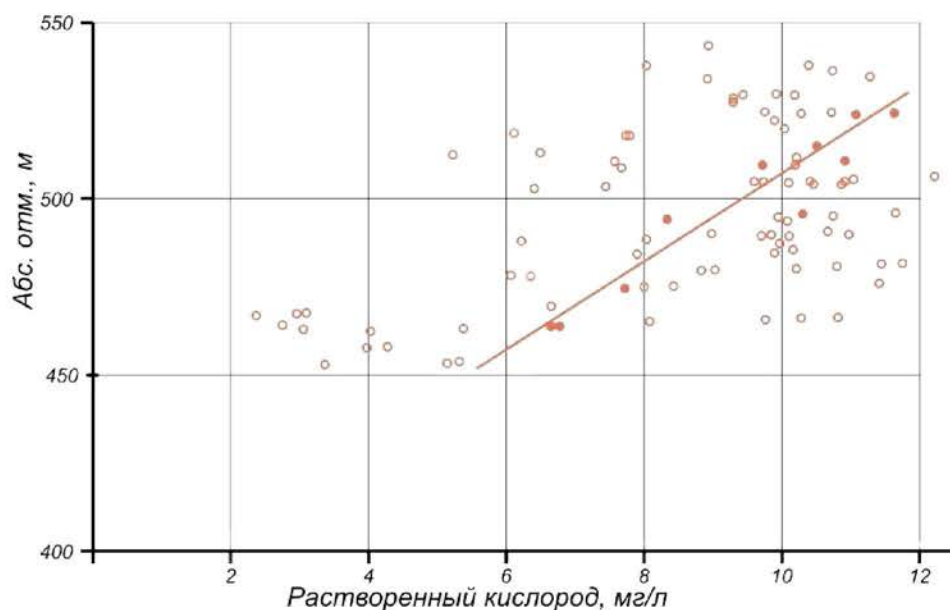


Рис. 4-5. Взаимосвязь величины содержания растворенного кислорода и гипсометрическим положением источника

несколько расплывчата, что объясняется воздействием побочных факторов (мощность покровных отложений, различия в трещиноватости водовмещающих пород и неодинаковая насыщенность их органикой). Кроме того, продолжительность циркуляции подземных вод зависит не только от гипсометрического уровня, сколько от глубины залегания подземных вод. Поэтому более четкая

связь отмечается лишь на ограниченных и гипсонометрически однородных участках (зачерченные точки – правобережье р. Ушаковки). Как показали режимные наблюдения, наряду с сезонным колебанием минерализации происходит изменение концентрации растворенного кислорода от 7 (осенью) до 11 мг/л (летом). Зависимость между минерализацией и содержанием кислорода в этом случае линейная и обратно пропорциональная (рис. 4-6). Растворенная углекислота встречается в весьма незначительных количествах, как правило, не более 3-5 мг/л, изредка увеличиваясь до 10 мг/л. Содержание агрессивной углекислоты довольно высокое и равно обычно 10-30 мг/л. С повышением минерализации воды концентрация ее быстро снижается, и уже при минерализации свыше 200 мг/л содержание агрессивной углекислоты становится не более 15 мг/л.

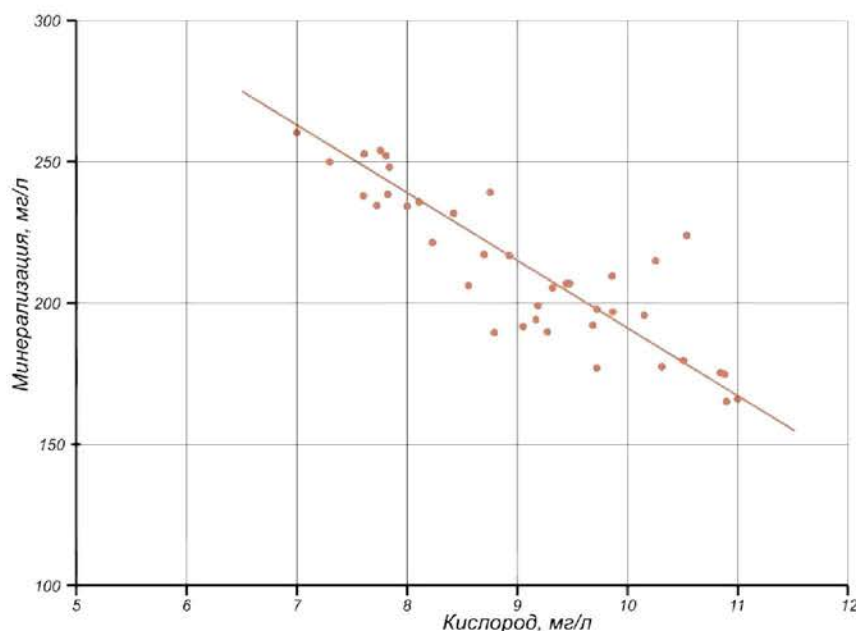


Рис. 4-6. Взаимосвязь величины минерализации и содержания растворенного кислорода источника

Дальнейшее увеличение минерализации воды приводит к ликвидации дефицита насыщения карбоната кальция. Анализ динамики изменения концентрации свободной и агрессивной углекислоты показывает, что ультрапресные воды обладают выщелачивающей и углекислотной агрессивностью, причем показатель интенсивности углекислотной агрессии в большинстве случаев равен или больше единицы (т.е. воды агрессивные или сильно агрессивные). Ультрапресные воды являются средой слабокислой либо нейтральной (рН 6,2-6,8) и характеризуются резко окислительной обстановкой ($E_h +500$ мВ). Таким образом по концентрации растворенного кислорода, свободной и агрессивной углекислоты и физическим свойствам эти воды весьма близки к дождевым осадкам. Правда, помимо указанного, дождевые осадки обладают ещё и общекислотной агрессивностью (рН 5.4-5.6).

Низкая минерализация, пространственная приуроченность к более увлажненной и сильно расчленённой территории с малой мощностью покрывных отложений и сродство по ряду важных показателей с атмосферными осад-

ками означает, что ультрапресные воды соответствуют начальному этапу формирования химического состава подземных вод. С другой стороны, их факта существования ультрапресных вод истекает, что формирования солевого состава происходит в условиях весьма активного водообмена, на коротких путях циркуляции и, следовательно, при продолжительном взаимодействии твердой и жидкой фаз. В этой обстановке происходит, по крайней мере, три процесса, переводящих минеральное вещество водовмещающих пород в подземные воды: 1 – разложение полевых шпатов, 2 – выщелачивание цемента и 3 – катионный обмен. Можно предположить, что специфичность состава ультрапресных вод не является в равной мере результатом совокупного протекания названных процессов. Наиболее вероятно, что своеобразие солевого состава связано с каким-то одним процессом, который наиболее полно реализуется в узких рамках условий существования ультрапресных вод.

Ультрапресные воды обладают исключительной выщелачивающей агрессивностью, что подтверждается некоторыми проведенными ранее экспериментами [Садыков, 1966; Шенькман, 1969]. Результаты показали, что гидрокарбонатные натриевые воды низкой минерализации образуются именно в результате углекислотного выщелачивания водовмещающих пород. Источником солевого состава ультрапресных вод являются водовмещающие породы – натриевые полевые шпаты (цеолиты). Однако поступление натрия в подземные воды происходит не в результате расщепления полевых шпатов углекислотой, а при их разложении гуминовыми кислотами, образующимися в почвенном слое. Возникающие при этом соли гуминовых кислот (гуматы) окисляются с образованием значительного количества углекислоты по схеме, предложенной С.А. Дуровым [26]. На выходе этой реакции в остатке имеется NaHCO_3 , CO_2 и H_2O .

Образование ультрапресных гидрокарбонатных натриевых вод при современном выветривании подтверждается минералогическим составом водовмещающих пород Иркутского угленосного бассейна. Для отложений средней юры этой территории свойственна кварц полевошпатовая минеральная ассоциация. При этом полевой шпат состоит из плагиоклазов, среди которого преобладает альбит и олигоклаз, и калишпатов, представленного микроклином и ортоклазом. Преимущественное развитие щелочных полевых шпатов подтверждается валовым химическим составом водовмещающих пород (табл. 4-4). Во всех случаях количество натрия равно либо превышает сумму щелочноземельных металлов. Совместно с калием это соотношение увеличивается до 1,7-3,2 и остаётся почти постоянным для всех главных литологических разновидностей. Преобладание калия над натрием в валовом химическом составе пород объясняется составом полевых шпатов, среди которых калишпаты занимают первое место. Кроме того, значительное количество калия связано с биотитом. Исходя из этого ожидаемо, что в солевом составе подземных вод калий будет преобладать над натрием. Но в действительности калия в подземных водах содержится в ничтожных количествах. Отсутствие калия в подземных водах вероятнее всего объясняется избирательностью выветривания полевых шпатов [Ильюхина, 1967]. Калишпаты представлены главным образом свежим и низким микроклином и ортоклазом. Для образования гидрокарбонатных нат-

Таблица 4-4

Химический состав пород коренной основы юры (по данным Пугача С.Л., 1960 г.; Шенькмана Б.М., 1969 г.; Демьянович [25])

Глубина опробования, м	Наименование породы	Элементный состав пород, %										
		ППП	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Сумма	Влага
21	песчаник	1,72	75,2	12,7	3,15	0,13	0,51	0,63	4,75	1,48	100,3	0,78
68	песчаник	3,88	70,5	13	4,27	0,39	1,25	0,81	3,74	2,03	99,4	0,45
82	песчаник	2,03	73,5	13	2,78	0,33	1,35	0,77	3,62	1,97	99,3	0
СРЕДНЕЕ ЗНАЧ.		2,52	73	12,9	3,4	0,28	1,04	0,8	4,04	1,83	99,7	0,41
9	алевролит	4,48	61,7	15,6	8,66	0,68	1,75	2,58	1,99	2,15	99,7	1,9
84	алевролит	5,17	58,6	20,1	7,3	0,93	1,28	2,05	4,2	1,36	101	2,3
169	алевролит	15	51,1	20,1	3,68	0,63	0,62	1,75	4,49	3,17	100,6	2,84
СРЕДНЕЕ ЗНАЧ.		8,22	57,1	18,6	6,55	0,75	1,22	2,13	3,56	2,23	100,4	2,35
22	аргиллит	5,48	68,2	11,8	3,59	0,4	4,14	1,27	3,14	1,43	99,45	1,05
96	аргиллит	4,49	71,6	16,1	2,47	0,83	0,08	0,85	3,53	0	99,95	0,26
179	аргиллит	3,82	62,3	17,9	5,22	0,85	0,8	1,93	5,77	1,41	100	1,5
СРЕДНЕЕ ЗНАЧ.		4,6	67,4	15,3	3,76	0,69	1,67	1,35	4,15	0,95	99,8	0,94

риевых вод низкой минерализации вовсе не обязательно преобладание щелочных полевых шпатов в составе водовмещающих пород. Расщепление полевых шпатов сопровождается обогащением гуматами щелочных металлов раствора, поскольку гуматы щелочноземельных металлов нерастворимы в воде. Это свойство хорошо используется при смягчении жесткой воды, когда в процессе очистки работают фильтры для воды из бурого угля. Кроме полевых шпатов, гуминовые кислоты взаимодействуют и с коренным цементом породы, вытесняя при этом углекислоту и образуя соответствующие соли, которые тут же выпадают в осадок. Это еще один процесс, препятствующий переходу кальция и магния в подземные воды.

Таким образом, ультрапресные гидрокарбонатные натриевые подземные воды формируются в результате взаимодействия водовмещающих пород (цеолитов) с гуминовыми кислотами, генерация которых происходит в почвенном слое. Для сохранения этих вод необходимы следующие условия: наличие почвенного слоя, облегченная инфильтрация, повышенная увлажненность, присутствие в породах натриевых полевых шпатов (цеолитов), и короткие пути циркуляции. Отсюда становится ясным, почему не только на территории Иркутской агломерации, но и на большей части Прииркутской впадины эти воды не встречаются вовсе: за исключением состава водовмещающих пород степень проявления всех указанных выше предпосылок не достаточна для сохранения ультрапресных гидрокарбонатных натриевых вод.

Гидрокарбонатные кальциевые, магниевые-кальциевые и кальциево-магниевые воды. Эти воды имеют повсеместное распространение в пределах изучаемой территории. Пространственно они связаны с подвешенным и межпластовым грунтовым водоносным комплексом и горизонтом, формируются в зоне активного водообмена на всех уровнях дренирования (местная эрозионная сеть, притоки р. Ангара, долина р. Ангара). Минерализация гидрокарбонатных кальциевых вод изменяется довольно широко: от 100 до 640 мг/л. Весьма редки примеры, когда эти воды имеют минерализацию, несколько меньшую чем 100 мг/л. Но и в этих случаях в катионном составе значительную роль (до 40%-экв) играет натрий; по существу – они переходного химического состава между ультрапресными гидрокарбонатными натриевыми и пресными кальциевыми.

Для гидрокарбонатных кальциевых вод характерна вертикальная зональность по величине минерализации. Наиболее четко она прослеживается между подвешенным и межпластовым грунтовым водоносным комплексом и горизонтом, что соответствует по существу двух уровням дренирования. На первом уровне дренирования (местная эрозионная сеть) величина минерализации изменяется от 100 до 390 мг/л и в среднем составляет 238 мг/л (табл. 4-1). На втором уровне дренирования минерализация повышается до 190-670 мг/л и в среднем равна 405 мг/л. Максимальные значения минерализации в обоих случаях встречаются редко и в основном вблизи населённых пунктов и в долинах крупных рек, что связано с процессами загрязнения и смешения.

Химический состав гидрокарбонатных кальциевых вод отличается однообразием и представлен преимущественно (85-95%-экв) гидрокарбонат-ионом. Среднее содержание сульфат-иона равно 8 мг/л, нередко снижаясь до нуля. Наибольшая изменчивость характерна для подвешенного водоносного комплекса, что объясняется его пространственной разобщенностью. Невелико количество хлора в подземных водах, которое обычно не превышает 2-3 мг/л (табл. 4-1). Увеличение хлора до 25 мг/л весьма редко и свойственно участкам, где происходит загрязнение, либо смешение подземных вод. Появление сульфата целиком следует связывать с окислением сульфидов, главным образом пирита. Что касается хлора, то его величина поступает с естественными осадками.

Более разнообразна катионная группа, состоящая из кальция, магния и натрия. Содержание последнего более или менее постоянно и в среднем равно 20%-экв, что соответствует примерно 10-25 мг/л. Трансформация состава воды происходит исключительно за счет кальция и магния. Изменение кальциево-магниевого коэффициента имеет направленный характер. Увеличение коэффициента с менее чем единицы до четырех и более происходит с юго-запада на северо-восток, что позволяет в этом направлении выделить в подвешенном и межпластовом грунтовым водоносном комплексе и горизонте, сменяющие друг друга гидрокарбонатные кальциево-магниевые, магниевые-кальциевые и кальциевые подземные воды (рис. 4-7).

Количество кремниевой кислоты колеблется от 6 до 19 мг/л и в среднем оставляет 14 мг/л. Как и в ультрапресных подземных водах, отсутствуют полуторные окислы. Среда обычно нейтральная, pH редко отклоняется от величины 6,8 + 7,2. Окислительно-восстановительный потенциал характеризует обстановку как

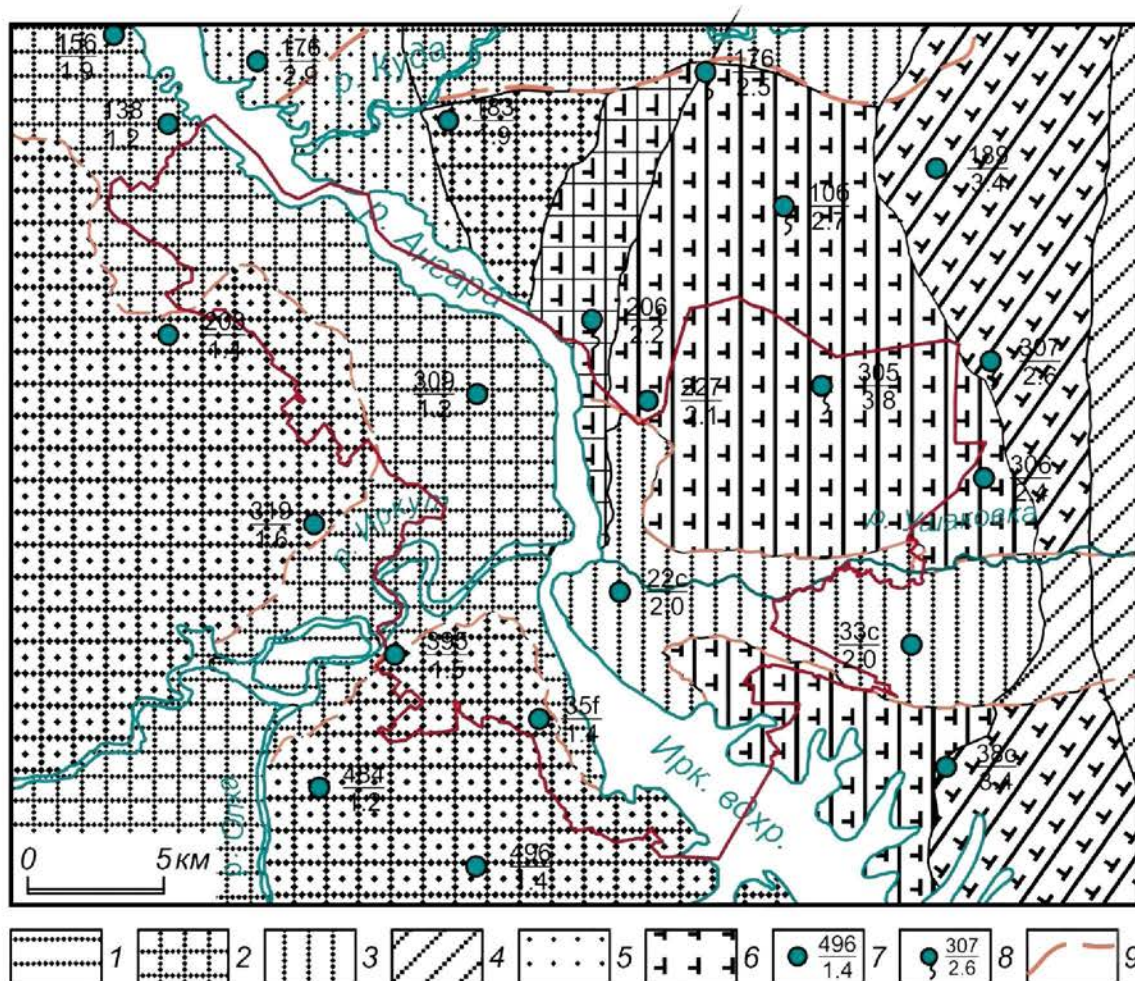


Рис. 4-7. Схематическая карта значений гСа/гMg подземных вод
Значения для межпластового грунтового водоносного горизонта 1 – до 1, 2 – 1-2, 3 – 2-3, 4 – более 4; значения для подвешенного грунтового водоносного комплекса 5 – 1-2, 6 – 2-3; 7 – скважина, в числителе номер, знаменателе величина магниево-кальцевого коэффициента; 8 – родник, в числителе номер, знаменателе величина магниево-кальцевого коэффициента; 9 – граница подвешенного грунтового водоносного горизонта

резко окислительную – Eh +300÷500 мВ. Количество свободной и агрессивной углекислоты изменяется в широких пределах и соответственно равно 15~50 и 0~20 мг/л. Растворенный кислород присутствует повсеместно и в зависимости от глубины циркуляции его количество изменяется от 1 до 10 мг/л. Газовый состав гидрокарбонатных кальциевых вод преимущественно воздушного происхождения. Изменение состава по мере движения воды сопровождается уменьшением кислорода, увеличением азота и углекислого газа.

Если ультрапресные гидрокарбонатные натриевые воды возникают на начальной стадии формирования химического состава, то по отношению к гидрокарбонатным кальциевым водам они являются исходными. Преимущество здесь бесспорно, что подтверждается постепенностью перехода первых во вторые. Поэтому происхождение гидрокарбонатных кальциевых вод следует связывать с теми изменениями, которые претерпевают ультрапресные воды по ме-

ре своего движения. Выше уже отмечалось, что существование ультрапресных вод возможно лишь в узких рамках условий, обуславливающих непродолжительность контакта между жидкой и твердой фазами, что в общем случае реализуется на коротких путях миграции. Увеличение продолжительности контакта при движении подземных вод приводит к существенным изменениям, которые сводятся к следующему. На некотором удалении от дневной поверхности количество гуминовых кислот в подземных водах становится настолько незначительным, что уже не оказывает заметного влияния на формирование солевого состава подземных вод. Этому периоду, по-видимому, соответствует максимальная концентрация гуматов щелочных металлов. Последние окисляясь, обогащают подземные воды углекислотой. В самом начале этого процесса формируются исключительно гидрокарбонатные натриевые воды [88]. Но по мере накопления двуокиси углерода существенную роль начинают играть углекислотная агрессия, в связи с чем резко возрастает минерализация воды, а в химическом составе начинает преобладать гидрокарбонаты кальция и магния. Процесс окисления гуматов происходит гораздо быстрее, чем реализация агрессивной углекислоты, поэтому состоянию полного окисления гуматов соответствует максимальная агрессивность подземных вод. Начиная с этого момента, минерализация подземных вод возрастает исключительно за счет гидрокарбонатов кальция и магния. Из изложенного видно, что формирование гидрокарбонатных натриевых вод приводит к обогащению подземной гидросферы углекислотой. В силу этого создаются благоприятные предпосылки для выщелачивающей агрессии, которая незамедлительно сказывается в смене химического состава подземных вод. Повышение минерализации воды в этом процессе сопровождается увеличением содержания свободной и агрессивной углекислоты и понижением концентрации растворенного кислорода (табл. 4-5, рис. 4-7).

Таблица 4-5

Изменение минерализации подземных вод в зависимости от концентрации свободной и агрессивной кислоты

Источник пробы воды	Абс. отм. источника, м	Минерализация, мг/л	CO ₂ свободная, мг/л	CO ₂ агрессивная, мг/л	O ₂ , мг/л
Осадки дождя	-	40,5	2,2	11	8,44
Родник	501	82	12,75	11,2	11,24
Родник	475,5	153	27,51	19,8	9,09
Родник	460	224	48,68	25	3,03
Родник	455	263	33,86	6,6	3,95
Родник	440	489	33	9	3,35
Скважина	420	403	32	0	1,11
Скважина	410	333	38,45	0	0,96
Скважина	422	420	34	0	0,97
Скважина	435	401,5	31,7	0	1,3

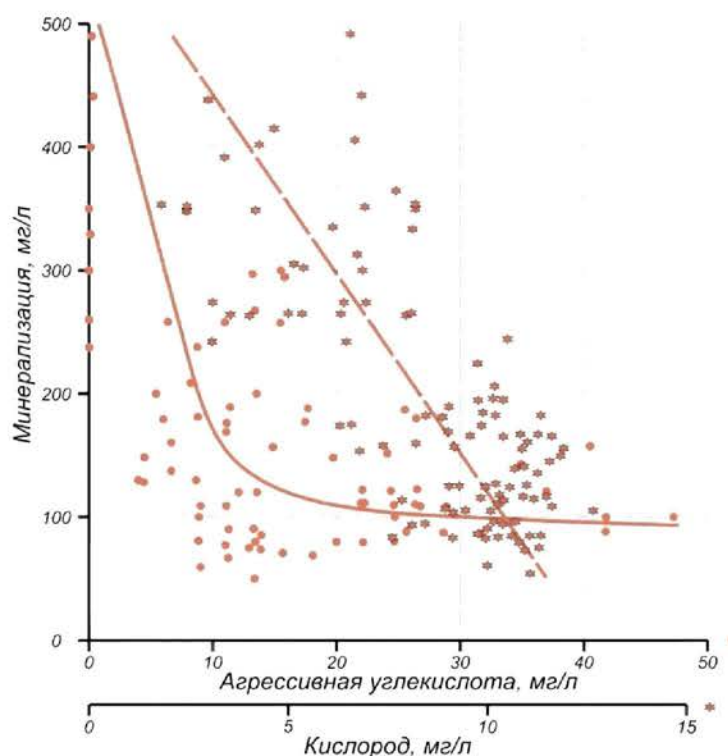


Рис. 4-7. График зависимости минерализации воды, содержания агрессивной углекислоты и кислорода подвешенного грунтового водоносного горизонта

Происхождение ультрапресных и гидрокарбонатных кальциевых вод связано с процессами, природа которых существенно различна. Однако различна не только природа процессов, но и источники солевого состава. Если в случае ультрапресных вод источником является скелет породы, то химический состав гидрокарбонатных кальциевых вод формируется практически целиком за счет выщелачивания карбонатного цемента. В составе цемента водовмещающих пород рассматриваемой гидрохимической зоны карбонаты не являются редкостью, а иногда они даже преобладают. Поэтому дефицит насыщения карбонатом щелочноземельных металлов существуют весьма не продолжительное время: по достижении минерализации 300 мг/л, вода уже не содержит агрессивной углекислоты (рис. 4-7), т.е. имеющаяся свободная углекислота пребывает в равновесии со связанной.

Можно привести еще несколько фактов, подтверждающих вывод о том, что смена химического состава возникает исключительно под влиянием качественно нового процесса, приводящего к повышению минерализации подземных вод. Если бы повышение минерализации и изменение состава подземных вод происходило вследствие разложения полевых шпатов, то следовало бы ожидать повышения концентрации кремнекислоты и натрия. Однако ни того, ни другого не происходит. Напротив, для ультрапресных вод количество кремнекислоты обычно равно 20-25 мг/л, а для гидрокарбонатных кальциевых – 14 мг/л. Что же касается натрия, то с повышением минерализации воды его доля в катионной группе снижается с 90 до 10~15 %-экв. Абсолютная концентрация натрия растет лишь в самом начале формирования химического состава. По достижении 15-25 мг/л она остается неизменной и независимой от величины

минерализации (рис. 4-8). Наконец, весьма показательны водные вытяжки, химический состав которых гидрокарбонатный магниевый-кальциевый и кальциево-магниевый (табл. 4-6). Концентрация натрия не превышает в среднем 10%-экв. Все вместе взятое еще раз подтверждает, что формирование гидрокарбонатных кальциевых вод происходит при углекислотном выщелачивании карбонатного цемента пород.

Гидрокарбонатные натриевые (содовые воды). Под ними подразумеваются воды, в химическом составе которых содержание $\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 > 70\%$. В отличие от ультрапресных гидрокарбонатных кальциево-натриевых и натриевых вод они имеют повышенную минерализацию (250~1000 мг/л), обладают щелочной реакцией, содержат карбонат-ион и характеризуются специфическими условиями формирования и залегания. Пространственно содовые воды приурочены преимущественно к первому от поверхности напорному водоносному горизонту. В рассматриваемых границах они широко развиты на правобережье и повсеместно на левобережье р. Ангары и в долинах ее рек-притоков, вскрываются на глубине порядка 40-70 м. Мощность зоны содовых вод не превышает 20-120 м, а в местах подтока соленых хлоридных натриевых вод сокращается до нуля (рис. 4-3). Увеличение минерализации содовых вод происходит с востока и северо-востока на запад и юго-запад. Наиболее существенные различия в минерализации наблюдаются между право и левобережьем р. Ангары. Увеличение или уменьшение минерализации не связано с изменением процентного содержания NaHCO_3 . Вертикальная зональность содовых вод по минерализации не отмечается. Для зоны содовых вод характерна щелочная среда (pH 8,5-9,0) и окислительная обстановка Eh +370 мВ. От дальней периферии территории к центру города наблюдается постепенное увеличение температуры воды (от 4 до 9 °C) и сероводорода (от 0,0 до 1,9 мг/л). В этом же направлении уменьшается концентрация кислорода с 1,0 до 0,0 мг/л. Свободная и агрессивная углекислота отсутствует полностью. В газовом составе появляется метан до 4% и сероводород (1,6~3,3%), исчезает углекислый газ и кислород (табл. 4-7).

Простым растворением или выщелачиванием составных частей минерального субстрата водовмещающих пород происхождение содовых вод объяснить не представляется возможным. В естественных условиях содообразование, как правило, является продуктом нескольких процессов, протекающих в пространстве и времени параллельно друг другу или последовательно друг за другом. Оно происходит среди пород различного возраста и вещественного состава, в любых гидро-термодинамических условиях. Поэтому содообразование рассматривается учеными как сложная проблема гидрохимии. Анализ гидрогеологических данных по более обширной, чем Иркутская агломерация, площади Прииркутской впадины позволил Е.В. Пиннекеру [58] предположить, что возникновение содовых вод обязано катионному обмену между поглощенным комплексом водовмещающих пород и гидрокарбонатным магниевый-кальциевыми водами. Уточнялось, что содообразование протекает в пределах изолированной структуры, т.е. в условиях затрудненного либо весьма затрудненного водообмена. Таким образом, были названы три основных компонента

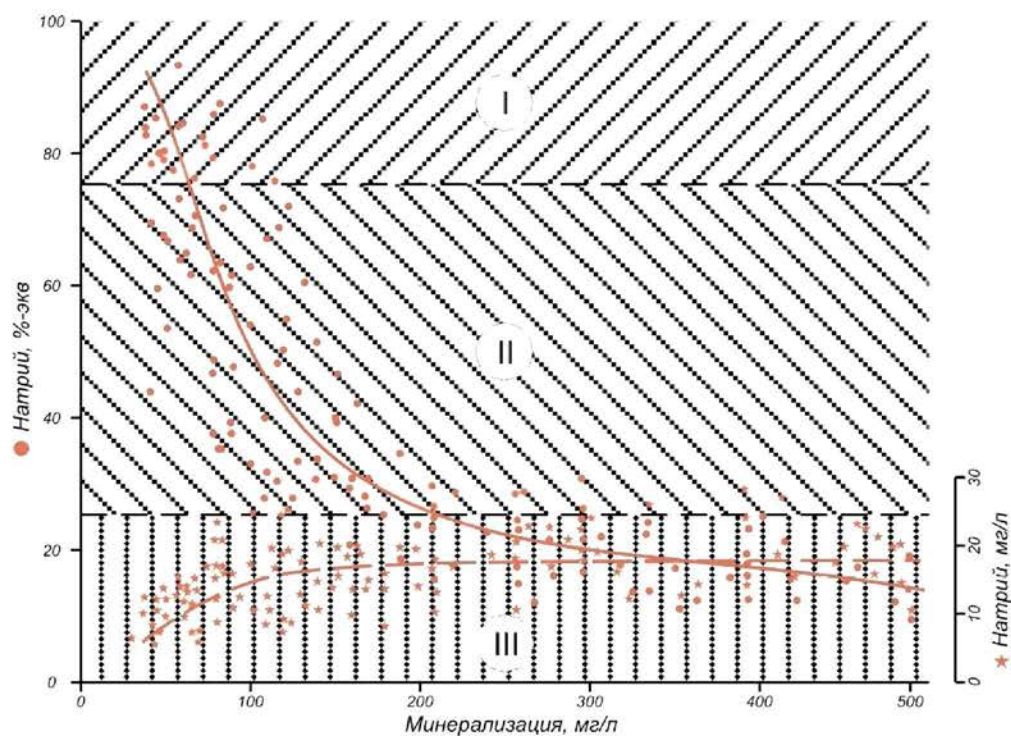


Рис. 4-8. График взаимосвязи содержания натрия и минерализации воды “под-
вешенного” грунтового водоносного комплекса
*Гидрокарбонатные воды I – натриевые, II – преимущественно кальциевые-
натриевые, III – кальциевые, магниевые-кальциевые*

Таблица 4-6

Химический состав водных вытяжек из коренных пород юрского возраста (в
границах города [Шенькман, 1965, 1997])

№ скв	Глубина отбора пробы, м	Наимено- вание породы	Химсостав подземной воды (интер- вал опробо- вания)	Минерализация вытяжки, мг/100 г.	Содержание на 100 г. породы						
					Na+K мг-экв	Ca мг-экв	Mg мг-экв	Cl мг-экв	SO ₄ мг-экв	HCO ₃ мг-экв	Na экв- %
365	36	Аргиллит	HCO ₃ -Ca-Mg	134	0,25	1,14	0,93	0,2	0,17	1,28	10,8
365	49	Алевролит	HCO ₃ -Ca-Mg	80	0,12	0,43	0,57	0,2	0,23	0,71	10,7
365	63	Песчаник	HCO ₃ -Ca-Mg	118	0,22	0,57	1,86	0,23	0,38	0,86	8,3
363	80	Уголь	HCO ₃ -Ca-Mg	751	0,81	6,36	0,93	0,2	9,85	1,86	10
149	30	Алевролит	HCO ₃ -Ca-Mg	123	0,13	0,57	1,78	0,17	0,23	1,14	5,3
182	42	Алевролит	HCO ₃ -Na	183	1,56	0,36	1,36	0,23	0,26	1,68	47,5
196	65	Песчаник	HCO ₃ -Na	148	0,06	0,64	1,14	0,17	0,71	1,28	3,3
329	108	Песчаник	HCO ₃ -Na	129	0,34	0,29	0,93	0,2	0,28	1,14	43,5
5	40	Песчаник	Cl-Na	162	0,56	0,57	0,72	1	0,32	1,28	30,2
182	118	Песчаник	Cl-Na	70	0,28	0,43	0,36	0,2	0,18	0,57	26,2
196	120	Песчаник	Cl-Na	182	1	0,64	1,78	0,17	0,33	1,68	29,3

Таблица 4-7

Химический состав содовых вод юрских отложений в границах Иркутской агломерации

№ скв.	Местоположе- ние скважины	Характер водо- обмена	Глубина опробо- вания, м	Т, °С	Eh, mV	Содержание компонентов состава вод, мг/л									ΣМ, мг/л
						H ₂ S	HCO ₃	CO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+ K	NH ₄	
469	Дзержинск	Активный (правобережье р. Ангары)	85,4	-	-	0,3	171	3	4,93	5,18	3,06	3,3	62,6	-	253
338			71	8,8	+370	1,9	217	15	33,2	0	0	1,96	111	0,6	378
324	г. Иркутск, центральная часть		95	6,8	-	0	311	12	1,81	1,44	16,4	1,24	100	-	417
30с			49	6,4	+410	0,6	274	0	6,7	24,3	30,3	4,5	121	-	461
36с			158	8	+430	0	250	24	24,7	7,28	9,31	2,62	117	0	435
132	г. Иркутск, правый берег		75,5	-	-	0	183	18	31,5	17,4	10,4	0,22	99,1	0	360
166			68,5	-	-	0	274	6	26,9	26,3	3,77	2,07	132	0	471
150			110	-	-	0	226	9	0	0	2,31	0	90	-	327
108			75	6,9	+381	1,1	231	12	28,6	2,18	8,8	1,12	128	0,1	389
10s			105	6,1	-	2,1	247	10	8,9	2,24	15,1	1,11	105	-	395
343	Максимовщина	Замедленный (правобережье р. Ангары)	30	5,9	-	0	561	24	11	0	5,01	0	230	0,9	840
34m			37	5,4	-	0	509	31	27	7,1	10,2	1,05	207	0,21	815
356	Смоленщина		25	-	-	0	512	60	56,7	30,3	4,81	0	284	0,8	948
380	Мамоны		12	5	-	0	561	0	71	6,5	49,1	14,1	193	0,03	953
32m			20	4,5	-	0	458	56	7,44	0	9,78	0	217	-	758
42m			23	4,3	-	0	422	21	28	1,1	11,2	0,5	224	0,02	831
5s	Селиваниха		33	5	-	0,5	537	20	17	11	7,6	1,12	220	0,78	828
107			27	6	-	0	503	11	9,4	3,7	5,81	0,6	241	0,81	789

процесса сообразования: источник натрия, химический состав исходных вод и гидродинамическая обстановка. Дальнейшее изучение показало, что Прииркутская впадина не является замкнутой структурой на глубине развития содовых вод, и содообразование, следовательно, происходит в весьма отличных от затрудненного водообмена условиях. Об этом свидетельствует и данные геофизических исследований по разным площадкам буровых работ (резистивиметровый каротаж), и устойчивость дебита фонтанирующих в течение 10-15 лет скважин и неизменность химического содовых вод при самоизливе и длительной откачке большой производительности. Все указывает, что содовые воды подвижны, а следовательно, имеют современные области питания и разгрузки. Основная область питания располагается на северной и восточной окраине впадины и вдоль ее юго-западной границы. Очагами разгрузки являются долины рек Ангары и выше по течению - Китоя, что фиксируется разгрузкой залегающих соленых вод нижнекембрийских отложений. Солоноватые воды вскрыты в долине р. Ангары от г. Иркутска до устья р. Китой примерно на уровне эрозионного вреза. Но если имеются благоприятные условия для разгрузки соленых вод, залегающих на глубинах 400-500 м, то для разгрузки содовых вод эти условия еще более благоприятны. На разгрузку содовых вод указывает химический состав солоноватых вод, который сформировался в результате смешения хлоридных натриевых и гидрокарбонатных натриевых вод (табл. 4-8). Судя по изменению минерализации соленых вод в пределах тектонически ослабленных зон с глубиной (на гл. 150 м – 15 г/л), они разбавляются при прохождении зоны содовых вод не менее чем в десять раз [89]. Это означает, что основной объем закрытой разгрузки приходится на содовые воды.

Наличие водообмена в сочетании со значительными ресурсами (примерно $5 \text{ м}^3/\text{с}$) и чистотой типа предполагает либо громадные исходные, либо непрерывно возобновляемые ресурсы натрия, способного участвовать в содообразовании. Значительные ресурсы натрия в водовмещающих породах могут находиться лишь в форме поглощенного комплекса. Но если учесть, что водовмещающие породы являются производными осадками, то это предположение маловероятно. Действительно, по данным Н.И. Демьянович [24], в поглощенном комплексе аргиллитов, залегающих в хоне распространения гидрокарбонатных магниево-кальциевых вод, доля кальция и магния составила 83%. С другой стороны непрерывная генерация натрия возможна лишь при эпигенетическом изменении водовмещающих пород и современном выветривании. Но эпигенетические изменения протекают либо крайне медленно, либо вообще прекратились [37], а современное выветривание способно обеспечить, как было показано, образование лишь ультрапресных гидрокарбонатных натриевых вод. С глубиной выветривание затухает довольно быстро и в зоне распространения содовых вод, вероятно, отсутствует полностью. Косвенным подтверждением служит постоянство и даже уменьшение концентрации кремнекислоты в пресных водах вниз по разрезу, что указывает на прекращение процесса расщепления алюмосиликатов. Вполне понятно, что названные источники поступления натрия в подземные воды обладают ограниченными возможностями, чтобы удовлетворять потребности содообразования, протекающие в части разреза, контролируемого

Таблица 4-8

Химический состав подземных вод юрских отложений по тектонически ослабленным зонам долин рек
(в границах Иркутской агломерации)

№ скв.	Местоположение скважины	Глубина опробования, м	Т, °С	pH	Содержание компонентов состава вод, мг/л									М, мг/л
					H ₂ S	HCO ₃	CO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+K	NH ₄	
375	Плотина Ирк. ГЭС	24	6,3	7,9	39,4	299	6	1188	190	19	9,8	938	10	2650
362	Мост, прав. берег	14,7	5,3	7,85	10,4	290	15,3	219	32,5	8,2	1,2	264	7	830
18a	Устье р. Ушаковки	26,5	5,1	7,6	11	306	2,1	198	27,4	6,1	2	205	8	768
11и	Мост, прав. берег	33	6,3	7,3	18,4	388	0	1290	190	70	33	950	9	2930
19	о. Грановский	18	6,6	7,1	14,7	317	6	881	113	28	12,7	684	7,2	2050
100k	Совхоз, лев. берег	88	-	-	519	519	0	728	14,4	18	5,2	650	-	1934
4к	Лесозавод, лев. берег	36	-	7,4	-	366	0	734	228	94,8	15,4	619	-	2058
398	Б.Разводная, прав. берег	129	-	-	-	223	0	319	61,9	34,6	16,5	249	-	904
311	Военный городок, устье	120	-	-	38,2	458	0	2904	681	110	24	2210	10	6158
30к	Военный городок, устье	48	-	7,9	22	271	0	1070	181	12	9,1	846	7	2425
356	Д. Смоленщина-Кая	40	4,5	7,8	3,5	518	51	1244	350	38,96	17,5	1131	2,7	3351
350	Устье Кая-Иркут	60	-	-	5,95	518	0	193	41	19	5	311	1	1086
32_	Лев. берег Иркуты	29	3,8	6,8	-	479	6	242	27,8	3,8	2,3	347	-	1107
501	Лев. берег Ангары	60	-	7,8	-	451	0	379	20	20	10,1	500	-	1380
21о	Лев. берег Ангары, Мег.	44	4,8	7,6	18,1	438	0	1130	60	22,8	9,2	900	0	2565
367	Максимовщина, Иркут	100	-	-	-	342	0	1022	88	16,7	3,4	878	3,75	2356
011a	Селиваниха, Иркут	42	4,4	7,1	-	468	0	224	26	3,56	2	318	-	1048
7b	Батарейная, лев. берег	70	-	7,3	28	365	0	1018	64,8	14	5	724	0	2219

эрозионным врезом р. Ангара. Все это вместе взятое послужило основанием к предположению, что катионный обмен в границах Прииркутской впадины не может быть ведущим фактором содообразования [86].

Анализ гидрогеологических условий территории, примыкающих к Прииркутской впадине, показал, что единственным местом, откуда возможно поступление натрия, может быть только Кудинская депрессия. Последняя служит естественным продолжением Прииркутской впадины и в структурном отношении представляет собой серию узких и глубоких полузамкнутых синклинальных структур, выпиленных неогеновыми и юрскими породами. Движение подземных вод здесь происходит от крыльев к осевым частям синклиналей и далее в юго-западном направлении, т.е. общий подземный сток направлен в Прииркутскую впадину. В части разреза, дренируемой местной эрозионной сетью, химический состав подземных вод в целом не зависит от возраста и состава водовмещающих пород и является гидрокарбонатным магниево-кальциевым с минерализацией 0,3-0,5 г/л. Вне зоны влияния местной гидросети минерализация воды возрастает до 1-3 г/л. Повышение минерализации сопровождается сменой состава на гидрокарбонатно-сульфатный, сульфатно-гидрокарбонатный кальциево-магниевый, магниево-кальциевый, кальциево-натриевый. В Прииркутскую впадину эти воды поступают главным образом в виде транзитного подземного стока. В солевом составе с глубиной начинает преобладать натрий, а относительное содержание сульфатов, кальция и магния уменьшается. Существует предположение, что на глубинах 150-200 м уже повсеместно распространены хлоридные натриевые воды.

Содообразование в Кудинской депрессии наиболее интенсивно происходит в самой верхней части гидрохимического разреза [88]. Это происходит в соответствии с условиями водообмена и тем фактом, что в верхних пластах угля наблюдается высокая сульфидная сернистость [100], обусловленная энергично протекающими процессом десульфатизации. Содовые воды здесь в основном смешанного состава, в которых содержание NaHCO_3 не превышает 40-50%-экв. Появление в подземных водах юрских отложений кудинской депрессии натрия и гидрокарбонат-иона обязано двум процессам: катионному обмену и восстановлению сульфатов. Указанные процессы содообразования протекают одновременно, хотя сульфатредукция несколько обгоняет обменные реакции. Благодаря этому часть щелочноземельных металлов в виде углекислых солей выпадает в осадок.

В направлении движения подземных вод наблюдается снижение минерализации с 2-3 до 1 г/л на границе Прииркутской впадины, которое сопровождается уменьшением количества сульфатов, гидрокарбонатов и щелочноземельных металлов. Постоянной остается лишь величина хлора и натрия. Уменьшение минерализации частично связано с сульфатредукцией. Однако основной причиной является ослабление подтока соленых вод со стороны кембрийских отложений из-за расширения синклинальных структур и увеличения доли атмосферного питания. Именно об этом свидетельствует постоянство абсолютного содержания натрия. Если бы разбавление отсутствовало, то при непрерывно протекающем катионном обмене концентрация натрия все время бы возрастала.

Попадая в Пирикутскую впадину, воды исходного состава полностью освобождаются от сульфатов, кальция и магния. Конечный результат метаморфизации представлен содовыми водами. На основе приведенного анализа был сформулирован вывод, что ведущим фактором содообразования в Прикикутской впадине может быть лишь восстановление сульфатов, а катионному обмену отводилась второстепенная роль [Шенькман, 1967].

Но сульфатредукцией, строго говоря, удовлетворительно истолковывалось содообразование только на правобережье впадины (примерно 60% площади), где минерализация содовых вод не превышает 400-500 мг/л. Что же касается левобережья, то происхождение здесь содовых вод с минерализацией до 1 г/л объяснить сульфатредукцией невозможно, поскольку лево- и правобережье (следовательно, и Кудинская депрессия), по крайней мере на глубину развития содовых вод, гидравлически и гидрохимически разобщены долиной р. Ангары (рис. 4-2), поскольку с ней совмещен контур дренирования и купол хлоридных вод. Другие источники сульфатов, помимо Кудинской депрессии, отсутствуют.

В части гидрогеологического разреза, расположенного выше содовых вод, содержание сульфатов ничтожно (рис. 4-9) и быстро уменьшается с глубиной. В самом деле, концентрация сульфатов хотя и доходит до 40 мг/л, но для

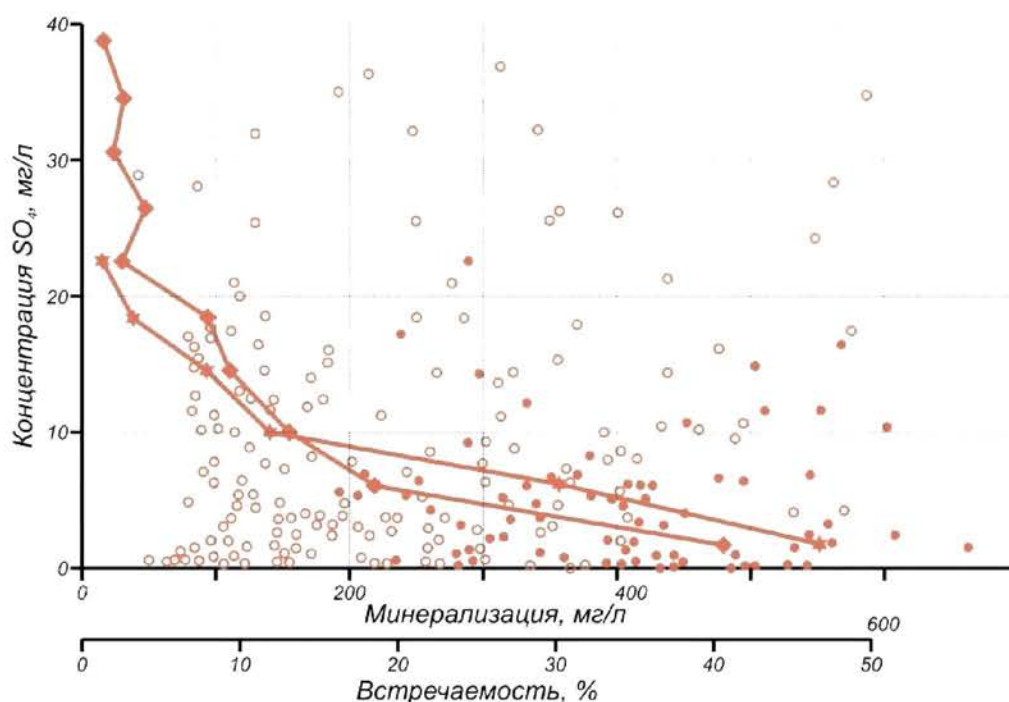


Рис. 4-9. График взаимосвязи содержания сульфат-иона и минерализации воды “подвешенного” грунтового водоносного комплекса и межпластового грунтового водоносного горизонта

75% определения не превышает 8 мг/л. Поэтому состав первичных вод, видимо, не мог быть иным, кроме как гидрокарбонатным магниевое-кальциевым. Известно, что в преобразовании вод подобного состава в содовые ведущую роль играет катионный обмен. Однако трудно представить, чтобы в отдельных частях небольшой и простой структуры существовали абсолютно различные по

своей природе ведущие процессы содообразования. Анализ эволюции гидрохимического разреза, подкреплённый исследовательскими и экспериментальными данными, позволил сделать вывод о том, что в целом для Прииркутской впадины ведущим фактором содообразования является катионный обмен [Шенькман, 1967]. Эти результаты исследований вполне актуальны и при рассмотрении только центральной части территории Прииркутской впадины в границах города Иркутска. Часть описанных выше процессов содообразования для левобережья р. Ангары выражается в развитии преимущественно катионного обмена, а на правобережье катионному обмену сопутствует еще и сульфатредукция.

Содовыми водами заканчивается рассмотрение формирования химического состава пресных подземных вод Иркутской агломерации и окрестностей. На этом примере отчетливо видно, что хотя пресные воды в целом связаны с зоной активного водообмена, различия в химическом составе в основном обусловлены изменением самого темпа водообмена. Следовательно, зона активного водообмена обладает хорошо выраженной гидрогеологической неоднородностью, что нашло свое отражение в преимущественной реализации того или иного процесса формирования химического состава подземных вод (расщепление алюмосиликатов, выщелачивание цемента и катионный обмен).

В гидрохимическом разрезе ниже зоны пресных вод с минерализацией более 1 г/л занимает господствующее положение **хлоридные натриевые воды** юрских отложений черемховской и заларинской свит. Мощность зоны солоноватых вод применительно к территории Иркутской агломерации доходит до 300-370 м. Глубина залегания хлоридных вод изменяется в широких пределах: от 50-80 м в долинах крупных рек до 150-280 м на водораздельных массивах. Более полное представление о глубине залегания дают изопахиты пояса пресных вод, поскольку граница пресных и солоноватых вод совпадает с границей гидрохимических типов (рис. 4-2 и 4-3). Переход от содовых вод к хлоридным довольно контрастный. Воды смешанного химического состава отмечались главным образом лишь на участках восходящего движения (долины рек). Отсутствие либо слабое развитие подзоны вод смешанного химического состава подтверждается пространственным совмещением границы пресных и солоноватых вод с границей между гидрокарбонатными и хлоридными водами. На правобережье Ангары под солеными водами с минерализацией 0,3-0,5 г/л залегают сразу же хлоридные воды с величиной сухого остатка 1,0-1,4 г/л. На левобережье значения минерализации названных вод соответственно увеличиваются до 1,0-2,0 г/л.

В пределах зоны хлоридных натриевых вод прослеживается вертикальная зональность по величине минерализации, которая с глубиной возрастает от 1 до 25 г/л. Вначале повсеместно наблюдается медленное повышение, так что на глубине 300-400 м сумма ионов редко превышает 6-8 г/л. По мере приближения к подошве отложений Черемховской свиты градиент минерализации значительно увеличивается. Известны случаи, когда в низах черемховской свиты минерализация воды доходила до 17 г/л. Тем не менее, скачкообразное повышение минерализации характерно лишь для пород заларинской свиты, где она равна обычно 20-25 г/л. Для хлоридных натриевых вод характерна нейтральная

среда pH 6,5-7,4 окислительная обстановка Eh +270-370 мВ, довольно низкая температура 5-7 град. В большинстве случаев в незначительных количествах имеется сероводород 2-5 мг/л, свободная углекислота до 15 мг/л, аммоний до 10 мг/л. Полностью отсутствует агрессивная углекислота и растворенный кислород. В газовом составе преобладает азот либо метан. Такова общая характеристика гидрохимической зоны хлоридных натриевых вод.

Появление хлоридных натриевых вод в пресноводных отложениях юрского возраста объясняется наличием источника солей вне юрских пород. Хлоридные натриевые воды сформировались в процессе преимущественно медленного подтока соленых вод со стороны кембрийского фундамента. Сохранность состава и минерализация этих вод была обеспечена затрудненным режимом водообмена. Вертикальный подток солёных вод и слабых рассолов из нижнекембрийских отложений происходит и в настоящее время. Прямое доказательство тому – интенсивная разгрузка солоноватых вод в долинах крупных рек и значительное превышение в 20-40 м пьезометрических уровней глубоко залегающих водоносных горизонтов. При проведении исследований ранее [Пиннекер, 1997] были отмечены две формы разгрузки соленых вод в юрские отложения: медленную диффузного характера и интенсивную. Первая форма разгрузки имеет повсеместное развитие, вторая - строго локализована и связана с долинами крупных рек и положительными структурами в нижнекембрийских отложениях.

Вне зависимости от формы разгрузки соленые воды, придя в соприкосновение с юрскими породами, претерпевают изменения, которые направлены в сторону увеличения чистоты гидрохимического типа. Для вод исходного химического состава угленосные отложения являются средой с высокой реакционной способностью. В результате этого взаимодействия хлоридные воды частично или полностью освобождаются от сульфатов и щёлочноземельных металлов. В зависимости от характера подтока соленых вод и распределения органического вещества по разрезу, при наличии возможности перелива подземных вод из смежных гидрогеологических структур, между окисляющим компонентом хлоридных натриевых вод SO_4 и органическим веществом водовмещающих пород возникают различные количественные соотношения. Вследствие этого в пределах единого гидрохимического типа появляются воды, обладающие той или иной специфической особенностью - соленые и солоноватые воды с высокой концентрацией сульфатов и щелочноземельных металлов, соленые и солоноватые бессульфатные воды насыщенные метаном и солоноватые сероводородные воды. Подробнее гидрогеологическая и гидрогеохимическая характеристика разновидностей хлоридных натриевых вод дана в работах Шенькмана Б.М. и Пиннекера Е.В. [56,58, 86,88], изучавших ранее более крупную структуру - Прииркутскую впадину, в границы которой входит вся территория Иркутской агломерации.

4.2. Актуальные и потенциальные техногенные источники загрязнения подземных вод

Анализ массива собранных данных по г. Иркутску и его окрестностям свидетельствует о том, что подземные воды подвержены загрязнению в наиболее хозяйственно освоенной части территории. В этих пределах загрязнение, как правило, свойственно лишь грунтовым водам четвертичных и коренных отложений при непосредственном контакте источника загрязнения с породами зоны аэрации и насыщения. Смещение ареала загрязнения по потоку подземных вод прослеживается повсеместно, но динамика этого процесса целиком определяется геохимическим и фильтрационным полями области фильтрации грунтового и, в меньшей степени, субнапорного водоносного горизонта. По характеру распространения поллютантов в исследованных границах существуют дискретно-площадное, локальное и точечное загрязнение. Первое свойственно аграрной зоне и в целом отличается низким уровнем и относительно малым набором контоминантов. Локальное загрязнение ассоциируется с промзонами и урбанизированными территориями. Оно отличается в общем случае высокой интенсивностью и широкой ассоциацией загрязнителей. В отличие от аграрной зоны, где загрязнение по набору веществ довольно устойчиво, в промышленно-урбанизированной зоне объекты эмиссии достаточно индивидуализированы.

Вне аграрной и промышленно-урбанизированной территории подземные воды в качественном отношении находятся в условиях весьма близких к естественному фону или ему соответствующих. Но пресные грунтовые и субнапорные воды и в ненарушенных условиях могут быть некондиционными, что связано, главным образом, с существованием геохимических провинций железистых, марганцевых, фтористых, кремнистых, бороносных, стронциевых и фосфорных вод (см. главу 4.1). Содержание каждого из этих компонентов химического состава может превышать существующие ПДК в 2-20 раз. Имеются обширные площади, где в ненарушенном состоянии подземные воды отвечают всем требованиям нормативных документов, однако в эксплуатационном режиме при использовании этой воды минерализация и химический состав направленно трансформируются в сторону ухудшения контролируемых показателей. Такой частный “случай” детально рассмотрен далее в главе 5.3 на примере Ушаковского месторождения питьевых подземных вод, ранее подготавливаемого для целей водоснабжения правобережной части г. Иркутска.

Ретроспективное сравнение выборки гидрогеологической информации за истекшие 50-60 лет и данных по результатам настоящих работ показывают масштаб техногенной трансформации гидрогеохимической компоненты подземных вод г. Иркутска. За этот период происходило довольно интенсивное преобразование гидрогеологической ситуации: медленные и плавные изменения сменялись быструтекущими процессами, что приводило в конечном счете к радикальной перестройке качественной составляющей подземных вод. Можно выделить три периода, предшествующих фазам интенсивной трансформации гидрогеохимических условий: промышленно-строительный бум конца 30^х - начала 40^х гг., гидротехническое строительство, гражданское строительство конца 60^х и начала 70^х гг. Исходное состояние гидрогео-

логической среды в 50^х гг. было достаточно неоднородно, но в целом качественная составляющая подземных вод была весьма близка к естественному фону. Исключение составляла лишь центральная часть города, где по данным первого обобщения Титова Н.А. (1936 г.) отмечается повышенная минерализация грунтовых вод (до 1,5 г/л) аллювиальных отложений первой и второй надпойменных террас. Антропогенное влияние однозначно прослеживается по высокой концентрации хлоридов и сульфатов. К концу 60х годов подобное состояние стало свойственно и грунтовым водам застраиваемых территорий на левобережье Ангары (новые микрорайоны в пос. Ново-Ленино, жилая застройка в Жилкино и Боково). Критического повышения концентраций элементов в составе подземных вод аллювиальных и коренных пород не наблюдалось. Между тем, в центральной части города, по материалам гидротехнических изысканий Емельянова В.А. (1951 г.), Крикционаса В.К. (1956 г.), Филюка А.Г. (1959 г.) фиксируется дальнейшее ухудшение гидрогеохимических условий. Оно выражается в повышении минерализации грунтовых вод до 2,5 г/л и увеличении в воде доли сульфатов и хлоридов. Бесспорна и существенная роль нитратов, хотя последние не определялись. Это суждение хорошо подтверждается материалами исследований 70^х гг. на территории индивидуальной застройки в пос. Ново-Ленино и Рабочем предместье, где концентрация нитрат-иона в воде достигает 60-340 мг/л при существенно меньшей антропогенной нагрузке. Таким образом, до середины 50^х гг. изменение гидрогеологической обстановки носило экстенсивный характер и выразилось в основном в постепенном увеличении минерализации и изменении состава грунтовых вод аллювиальных отложений. Подземные воды коренной основы эти изменения в тот момент времени практически не затронули.

С созданием Иркутского гидроузла с водохранилищем гидрогеологические условия претерпели коренную перестройку. В верхнем бьефе увеличилась мощность грунтового водоносного горизонта в юрских угленосных отложениях и одновременно повысился напор нижезалегающего горизонта. Развитие подпора привело также к формированию напорного водоносного горизонта в аллювиальных отложениях третьей надпойменной террасы. Получила развитие обходная фильтрация, главным образом на правобережье р. Ангары. Это обстоятельство привело к повышению уровня воды в центральной части города и снижению в километровой полосе за счет прекращения зимних зажоров [90]. В конечном итоге следствием образования водохранилища проявилось опреснение грунтовых вод, которое в разной степени прослеживается по всей области обходной фильтрации (рис. 4-10). Параллельно этому процессу фоном возрастают антропогенные воздействия в селитебной зоне.

Большие изменения наблюдаются непосредственно в нижнем бьефе. Помимо субазральной разгрузки грунтового потока на контакте аллювиальных четвертичных и угленосных отложений, отчетливо прослеживаются сдвиги в гидрогеохимической обстановке коренной основы. Они выражаются в деформации гидрогеохимического купола в днище долины р. Ангары и некоторой перестройке его структуры. Прежде всего, укажем на расширение и подъем купола. Морфологические изменения сопровождалось восходящим перемещением зональных границ, что привело к выходу соленоватых сероводородных вод в

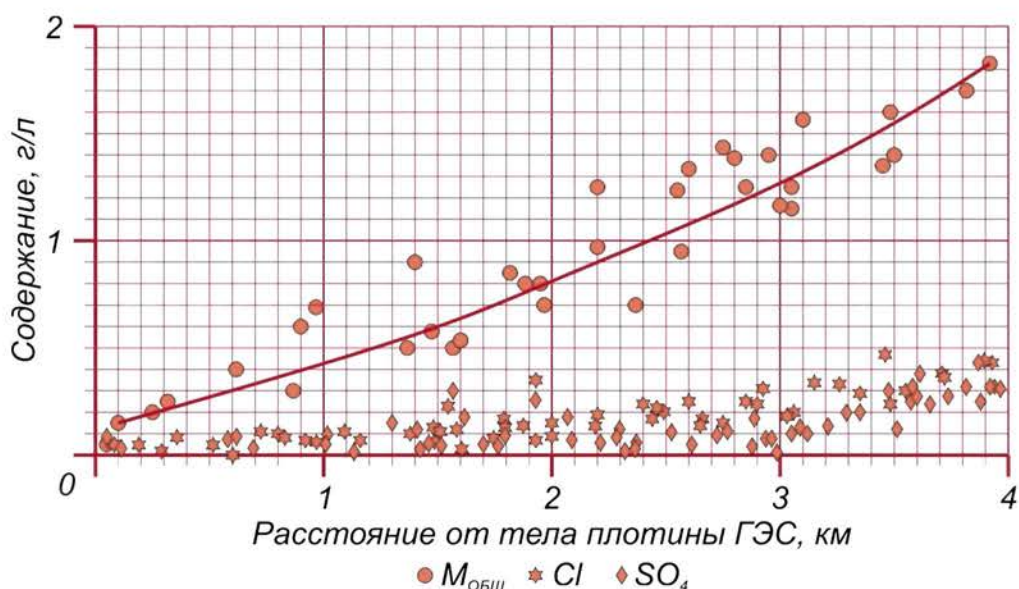


Рис. 4-10. Изменение состава грунтовых вод в зоне обходной фильтрации Иркутского водохранилища

приповерхностную область. Так, с глубины 11-23 м скважины вскрывают напорные воды и фонтанируют, а минерализация воды достигает 3 г/л и содержание сероводорода до 40 мг/л. До заполнения водохранилища воды подобного состава и минерализации вскрывались только при зачистке юрских пород в котловане станции ГЭС, т.е. на 12-14 м гипсометрически ниже. Изменение положения границы раздела кислородных и сероводородных вод крайне важно, поскольку последние обладают высокой агрессивностью к металлу.

Изменения в динамике гидрогеологического процесса хронологически совпало с массовой жилой застройкой в начале 70^х и 80^х гг. По мере роста города и замещения застройки одного типа другими росло загрязнение подземных вод. Прогрессирующий рост минерализации воды отмечен в юрских угленосных отложениях, что сопровождалось значимым преобразованием химического состава. Загрязнению подверглись в большей степени подземные воды зоны аэрации (подвешенные водоносные горизонты) и в меньшей степени - грунтовые воды. Напорный водоносный горизонт пока остался в состоянии, близком к естественному фону. Наибольшая степень загрязнения свойственна участкам свалок твердых бытовых отходов - минерализация подземных вод достигает 3 г/л (р-он Топки) - 10 г/л (р-он Радищево). Влияние свалок прослеживается вниз по потоку на 1,5-2,0 км и в пределах этого расстояния наблюдается хорошо выраженная зональность по минерализации, базовому химическому составу и приоритетным компонентам загрязнения: нитратному, аммонийному и нитритному азоту, общему фосфору, органическому веществу, тяжелым металлам. В районах свалок формируются "экзотические" химические типы подземных вод: гидрокарбонатные аммонийные, хлоридные кальциевые и др.

Вне свалок фоновое загрязнение присутствует на участках индивидуальной застройки, садоводческих хозяйств, теплицах, рекреационной зоне, золоотвалах. В этих случаях минерализация воды превышает фоновую величину в 2-5 раз. В воде в заметных количествах появляются компоненты, концентрация которых в естественных условиях близка нулю. Загрязнение в местах интенсив-

ной нагрузки (тепличное хозяйство СИФиБРа, с. Марково, п. Искра, п. Глазуново) распространилось на грунтовые и в меньшей степени субнапорные воды в отложениях юры. Близкая по структуре загрязнения ситуация сложилась на участках компактного размещения садоводств в черте города – окраина микрорайона Юбилейный, на поймах рек Иркуты, Ушаковки и Ангары, в Ершах. В отличие от селитебной (жилой) зоны, здесь загрязнение подземных вод не сопровождается сколько-нибудь заметным повышением уровня грунтовых вод. Напротив, в селитебной зоне – исключая индивидуальный сектор застройки – изменение состава и минерализации подземных вод происходит параллельно с повышением уровня и температуры воды.

Трансформация подземных вод в пределах города и ближайших окрестностей продолжается. Темпы таких преобразований не испытывают тенденцию к затуханию, а даже пребывают в стадии некоторого оживления процесса из-за продолжающегося массового строительства, увеличения транспортной компоненты, освоения нового земельного фонда в черте города и некоторых других факторов. В этой связи уместным видится изложить более подробную характеристику наиболее ярких источников техногенного загрязнения города – правобережных очистных сооружений с площадками отвалов снега, городской свалки мусора, левобережных нефтехранилища и золоотвала Новоиркутской ТЭЦ.

Правобережные очистные сооружения существуют на устьевом участке долины ручья Топка, где с поверхности залегает грунтовый водоносный горизонт современных четвертичных аллювиальных отложений низкой и высокой пойм. Под ними повсеместно вскрываются субнапорные и напорные воды угленосных пород юрского возраста. Непосредственно к обводненным образованиям поймы примыкают грунтовые воды, залегающие на коренных склонах долины р. Ангары. Эти воды гидравлически связаны с аллювиальным горизонтом, а последний – непосредственно с р. Ангарой.

Важной особенностью водоносного горизонта является нарушенность его естественного залегания. Та часть горизонта, что примыкает к р. Ангаре, вскрыта почти до коренных пород многочисленными гравийно-галечниковыми карьерами. Напротив, в присклоновой полосе горизонт пригружен техногенными грунтами и иловыми площадками очистных сооружений. Поэтому водоносный горизонт по условиям залегания уже давно лишился естественного статуса. А поскольку нарушения связаны главным образом с разрушением сплошности водоносного пласта и размещением на его поверхности свалок, то в наибольшей степени ущерб нанесен качеству воды.

Химический состав грунтовых вод изучался на протяжении последних 30 лет от случая к случаю. Полноценное гидрогеохимическое опробование выполнялось ранее в 1999, 2001, 2009, 2010-11 г. Каждое такое опробование фиксировало, что в районе размещения очистных сооружений подземные воды являются загрязненными. Здесь, начиная примерно с 1936 г. было место для слива городских нечистот. После сооружения очистных мощностей ареал загрязнения расширился, но степень загрязнения заметно уменьшилась. Так по данным изысканий 1968-1971 гг. минерализация воды не превышала 0,83 г/л. Однако признаки антропогенного загрязнения несомненны: достаточно обратить вни-

мание на содержание сульфатов и хлоридов в воде, минерализация которой выше 0,4 г/л (скв. 04S, 8, k38, рис. 4-11). Важно отметить, что наблюдается снос

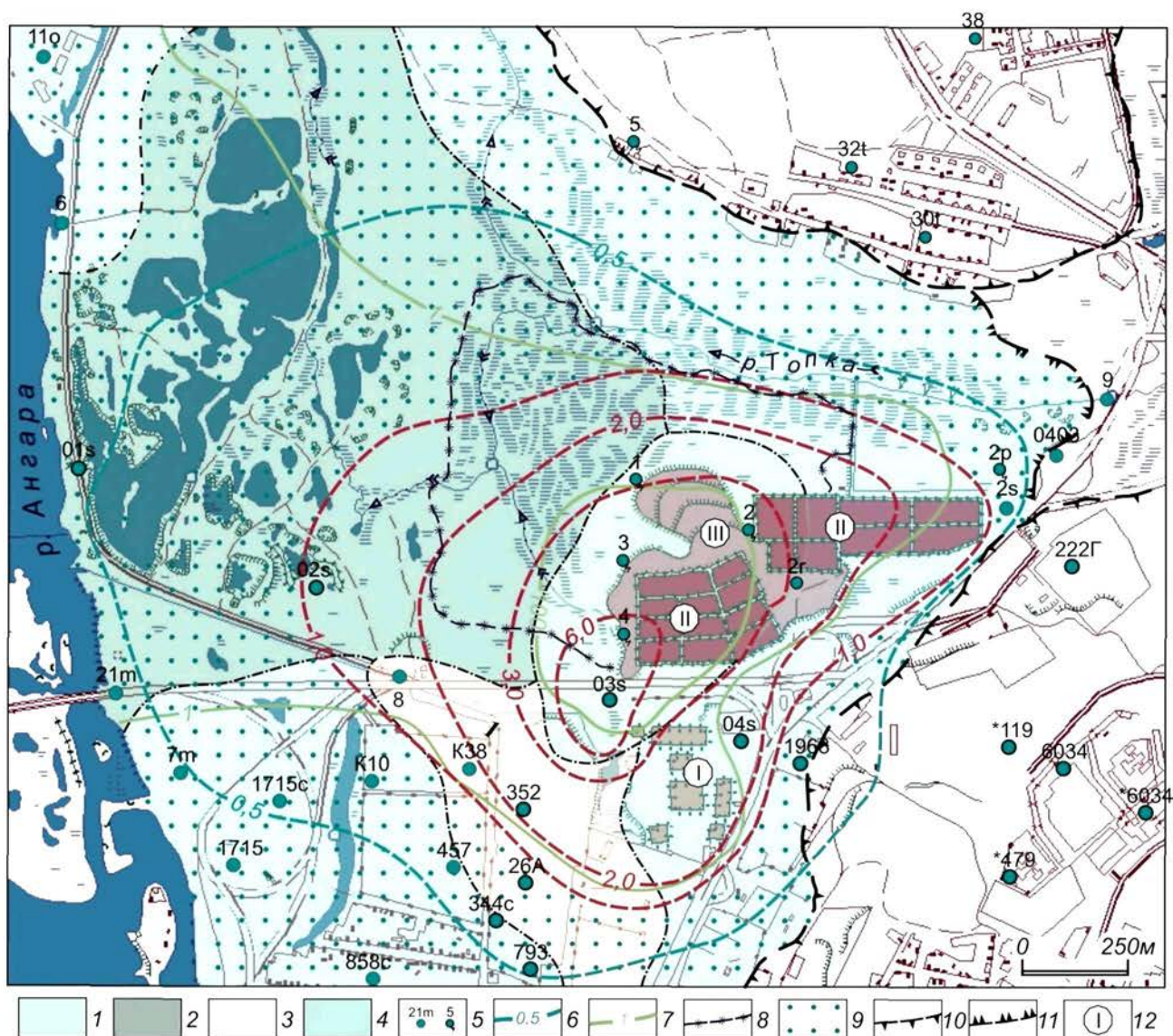


Рис. 4-11. Гидрогеохимическая обстановка в районе правобережных очистных сооружений г. Иркутска

Химический состав подземных вод: 1 – гидрокарбонатный щелочноземельно-аммониевый; 2 – хлоридно-гидрокарбонатный и гидрокарбонатно-хлоридный натриево-щелочноземельный; 3 – сульфатно-гидрокарбонатный щелочноземельный; 4 – гидрокарбонатный щелочноземельный; 5 – водопункты (скважины и родники); 6 – изогалины, г/л; 7 – изолинии содержания NH_4 , мг/л; 8 – плавающие границы снегоотвала; 9 – площадь распространения вод с минерализацией до 1 г/л; 10 – основание коренного склона долины; 11 – граница распространения аллювиальных отложений долины р. Ангары; 12 – источники техногенного загрязнения: I – иловые площадки, II – аэротанки, III – свалка ТБО

загрязнения по потоку грунтовых вод. Так часть горизонта, расположенная выше по потоку и восточнее очистных, имеет воду пониженной минерализации с концентрацией хлоридов и сульфатов, близких к уровню естественного фона.

Со временем постепенно повышалась минерализация, и заметно менялся исходный химический состав воды. С образованием свалок бытовых отходов и снега произошло расширение ареала загрязненных вод. По данным зондировочного бурения, выполненного в начале 90^х гг. (ПГО Иркутскгеология), минерализация воды в сфере влияния свалок и очистных сооружений увеличилась до 1,3 г/л (табл. 4-8) При этом возникли воды экзотического состава:

Таблица 4-8

Химический состав и минерализация подземных вод в районе правобережных очистных сооружений (данные ПГО Иркутскгеология, 1992 г.)

№ скв.	Глубина отбора пробы, м	Минерализация воды, г/л	pH	Компоненты химического состава, мг/л								
				NH ₄	Na+K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	Fe _{общ}	H ₄ SiO ₄
1	0.50	1.28	6.9	30.0	219	59	42	652	195	65	0.3	21
2	0.80	0.91	6.9	9.0	96	101	31	503	96	63	0.4	21
3	0.05	0.80	7.1	0.2	107	122	15	207	224	111	0.4	21
4	0.40	0.30	6.8	2.4	15	43	11	171	23	17	0.2	21
5	1.50	0.31	6.3	0.2	27	49	7	76	16	122	0.3	27
6	0.50	1.02	6.9	0.1	120	137	31	259	79	390	0.3	13
7	1.40	0.85	7.1	1.8	38	114	38	625	10	4	1.8	22

гидрокарбонатные аммиачно-натриевые, хлоридно-гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-сульфатные. Ранее существовавшие низкоминерализованные гидрокарбонатные воды исчезли. Там, где химический тип сохранился (северо-восточная иловая площадка), минерализация воды повысилась до 1-2 г/л (рис. 4-11). Вниз по потоку и на расстоянии 1,0–1,2 км их воздействие ощущается довольно слабо: качественное состояние воды приближается к фоновым значениям (т. 4 и 5, табл. 4-8).

Можно предположить, что в это время в сфере непосредственного воздействия очистного комплекса и свалки ТБО минерализация грунтовых вод была существенно выше. Изыскания 1997 г. показывают, что максимальная соленость растворов на площадке очистных достигла 6,5 г/л (табл. 4-9). Рекогносцировочное обследование территории в 1996 г. показало, что в теле свалки ТБО и залегающем под ней фрагменте водоносного горизонта сформировались воды с минерализацией 3–4 г/л. Поверхностное положение источников загрязнения отнюдь не ограничило распространение поллютантов вглубь разреза. Пораженной оказалась вся водонасыщенная толща аллювиальных отложений вплоть до коренных пород. Наличие 2-3^х метровой толщи эллювия в условиях динамического покоя, по-видимому, целиком препятствует проникновению контоминантов в подземные воды коренных отложений (напорный и субнапорный водоносные горизонты) [91].

Таблица 4-9

Химический состав и минерализация подземных вод площадки правобережных очистных сооружений (по данным Шенькмана Б.М., 1997 г.)

№ скв	Дата опробования	Уровень воды, м	Глубина опробования, м	Минерализа- ция, г/л	pH	Компоненты химического состава, мг/л					
						$\frac{\text{Fe}^3}{\text{Fe}^2}$	$\frac{\text{NH}_4}{\text{Na} + \text{K}}$	$\frac{\text{Ca}}{\text{Mg}}$	$\frac{\text{NO}_3}{\text{NO}_2}$	$\frac{\text{Cl}}{\text{SO}_4}$	$\frac{\text{HCO}_3}{\text{CO}_{2\text{арп}}}$
4	10.07.97	9.4	4.5	0.74	6.7	$\frac{0.9}{1.8}$	$\frac{0.8}{2.8}$	$\frac{120}{43}$	$\frac{2.9}{0.05}$	$\frac{36}{4}$	$\frac{525}{31}$
8	12.07.97	1.7	1.7	1.58	6.6	$\frac{-}{-}$	$\frac{4.5}{125}$	$\frac{60}{152}$	$\frac{0}{0.05}$	$\frac{71}{8.2}$	$\frac{1159}{0}$
10	30.07.97	7.0	11.8	6.46	7.3	$\frac{2.7}{0.3}$	$\frac{562}{548}$	$\frac{40}{413}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{923}{4}$	$\frac{3965}{57}$
24	07.08.97	8.0	8.0	2.06	6.6	$\frac{0.3}{0.6}$	$\frac{1.2}{297}$	$\frac{170}{70}$	$\frac{4.6}{0.5}$	$\frac{142}{142}$	$\frac{1232}{0}$

В марте 2010 и феврале 2013 г. в районе правобережных очистных сооружений было проведено более детальное опробование доступных водопунктов. Результаты обследования помещены в таблицах 4-10, 4-11 и 4-12. Нужно отметить, что в основании западного уступа свалки ТБО дополнительно обнаружено было два сосредоточенных выхода подземных вод (родники 3 и 4). Величина минерализации воды по родникам 1 и 2 оказалась сопоставимой с опробованием 1996 г. и 1999 г. (Шенькман Б.М., 1996-99 гг.). Из этого можно заключить, что в районе очистных сооружений и свалок в настоящее время сформировался устойчивый гидрогеохимический режим. Подземные воды на участке непосредственного влияния источников загрязнения представляют собой разбавленные в той или иной степени разбавленные подсвалочные растворы. Главные особенности этих растворов – высокие концентрации гидрокарбонат-иона (до 2,6 г/л), солевого аммония (до 350 мг/л), калия (до 80 мг/л), закисного железа (до 30 мг/л), ортофосфатов (до 2,67 мг/л), диоксида углерода (до 740 мг/л). При этом повсеместно отмечается повышенная концентрация кремнекислоты и растворенных органических веществ (окисляемость достигает 36 мгО/л). Важная особенность этих вод – практическое отсутствие растворенного кислорода.

Весьма примечательным оказался газовый состав грунтовых вод вблизи источников загрязнения. Поскольку материал свалок ТБО и иловых площадок является газогенерирующим, то помимо высокой газонасыщенности (до 437 мл/л) в составе растворенных газов решительно преобладают уголекислота и метан (табл. 4-11). Таким образом, в материале свалки ТБО и иловых площадок происходит интенсивное уголекислотное и метановое брожение. Это приводит к полному обескислороживанию растворов, создавая тем самым резко восстановительные условия. Высокое содержание диоксида углерода приводит к быстрому накоплению больших количеств гидрокарбонат-иона, который в значи-

Таблица 4-10

Химический состав и минерализация подземных вод площадки правобережных очистных сооружений (2013 г.)

Водопункт	Т,°С	pH	Минерализация воды, г/л	Компоненты химического состава, мг/л															
				NH ₄	K	Na	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	NO ₂	H ₄ SiO ₄	H ₂ PO ₄	O ₂	CO ₂	Fe _{общ}	окисляемость
Родник 1	0.4	7.25	2.56	6.5	5.6	262	281	106	1501	190	184	0	0.5	22	0.25	0.10	417	15	19.4
Родник 2	0.4	8.15	3.16	350	80	73	162	96	2281	64	53	2.0	0.35	35	2.67	0.53	350	5	36.2
Родник 3	0.3	7.30	3.57	275	75	91.5	230	140	2624	70	2.0	0	0.2	64	0.20	0.10	740	30	26.6
Родник 4	-	7.40	3.12	270	64	71	190	140	2276	61	2.0	0	0.4	48	0.09	-	-	-	15.4
Родник 5	4.7	7.65	0.47	0	0.9	7.2	72	27	193	41	23	70	сл.	34	0.04	10.9	24	0	0.6
р. Ангара, ниже сброса, 2	0.2	7.75	0.10	0	0.8	3.2	16	4.3	67	3.9	2.0	0.3	0.01	4	0.07	11.2	10	0	1.0
Бывший сбросной канал, 4	-	7.15	0.71	4	4.7	40	95	25	464	33	10	0	сл.	32	0.16	10.2	10	0.6	5.1
Руч. Топка, 3	1.7	7.45	0.39	10.5	2.1	34	37	12	173	51	30	0	0.03	44	1.00	9.97	28	0	1.9
Карьерное озеро, 1	0.2	7.35	0.53	5.5	3.9	50	56	20	298	72	6	0	0	21	0.44	4.2	18	0	8.0
Вода после очистки и разбавления, 5	16	7.0	0.21	5	8.1	20	23	6.1	98	24	0	16	1.5	12	2.00	-	-	-	10.1
Снег на свалке, 6	-	6.6	0.82	4.1	8.9	249	38	6.7	104	355	40	0	0.01	11	-	-	-	-	8.3

Таблица 4-11

Газовый состав подсвалочных подземных вод

№ родника	Дата отпробования	Форма выражения анализа	Компоненты газового состава				
			O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	сумма
1	25.01.10	%%	0,96	10,45	25,21	63,38	100
		мл/л	0,10	11,24	213,8	68,17	293
3	25.01.10	%%	-	45,12	37,26	17,62	100
		мл/л	-	41,30	376,7	18,95	437

тельной степени уже связан с аммонийным ионом. Одновременно окисные формы железа переходят в закисные. Однако подвижность двухвалентного железа невелика: в местах выхода на поверхность и при смешении с кислотосодержащими водами оно быстро выпадает в осадок. Так вблизи свалки ТБО биогенные осадки (торф, почва) сцементированы гидроокислами и карбонатами железа. Хотя свалка ТБО считается давно недействующей, геохимические процессы здесь протекают весьма активно. По всей вероятности, это связано с «подпиткой» свалки твердыми отходами из очистных сооружений: глыбы отработанного активного ила складываются непосредственно на свалку. Этим, вероятно, и объясняется высокая концентрация солевого аммония в подземных водах.

Материал свалок ТБО и иловые площадки являются также источником тяжелых металлов в подземных водах. При отпробовании нескольких упомянутых водопунктов, (среди них – два подсвалочных родника), в пробах воды по результатам анализов присутствует характерный спектр микрокомпонентов (табл. 4-12). Весомые значения показателей отмечаются для марганца и строн-

Таблица 4-12

Тяжелые металлы в водопунктах очистных сооружений

Водопункт	Содержание, мкг/л								
	Co	Cu	Zn	Ni	Cr	Pb	Cd	Mn	Sr
Родник 1	-	-	14	-	-	-	-	5980	2400
Родник 3	-	-	63	-	-	-	-	1840	2100
Родник 5	-	-	4	-	-	-	-	-	660
Карьерное озеро, 1	-	-	8	-	-	-	-	1140	660
Бывший сбросной канал, 4	-	-	4	-	-	-	-	1200	770
р. Топка, 3	-	-	5	-	-	-	-	82	118
р. Ангара, ниже сброса, 2	-	-	9	-	-	-	-	-	103

ция, менее заметен цинк. Что же касается кобальта, свинца и кадмия, то их концентрация в растворе меньше нижнего предела обнаружения. Таким образом, в значимых количествах в раствор переходят калий, железо, марганец и стронций. Остальные из проанализированных металлов в существующих гидрогео-

химических условиях обладают низкой подвижностью и, скорее всего, не мигрируют за пределы свалки. В местах складирования снега на этом объекте техногенного воздействия формируются подземные воды хлоридного облика. В отличие от площадок ТБО здесь господствует резко окислительная обстановка и соответствующий ей комплекс микрокомпонентов с преобладанием натрия и хлора.

Выполненные исследования позволяют заключить, что правобережные очистные сооружения, иловые площадки, полигон твердых бытовых отходов и свалки снега являются основными источниками загрязнения грунтовых вод аллювиальных четвертичных отложений низкой и высокой пойм. Подземные воды коренных отложений, залегающие под грунтовым потоком, на большей части рассматриваемой территории свободны от загрязнения. В районе влияния очистных сооружений по величине минерализации грунтовых вод выделяются две разновеликие, вложенные друг в друга и концентрически смещенные зоны: высокой (1 – 6 г/л) и низкой (> 1 г/л) минерализации (рис 4-12). Наиболее высо-

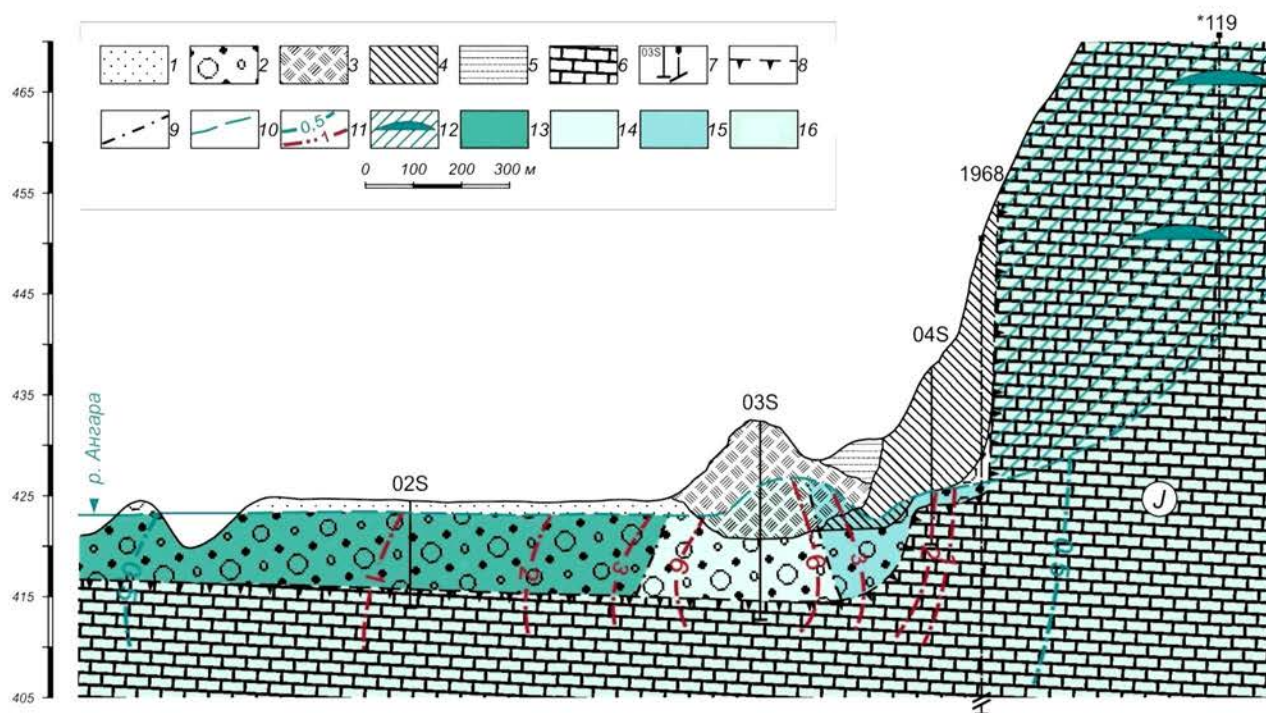


Рис. 4-12. Гидрогеохимический разрез в районе правобережных очистных сооружений г. Иркутска

1 – песок, супесь; 2 – галечник; 3 – техногенный грунт; 4 – суглинок; 5 – глина; 6 – песчаник; 7 – скважина; 8 – основание коренного склона долины; 9 – гидрогеохимическая граница; 10 – уровенная поверхность подземных вод; 11 – изогалины, г/л; 12 – область распространения подвешенного водоносного горизонта; химический состав подземных вод: 13 – хлоридно-гидрокарбонатный кальциевый, 14 – гидрокарбонатный аммониевый, 15 – сульфатно-гидрокарбонатный кальциевый, 16 – гидрокарбонатный кальциевый

кая минерализация (3 – 6 г/л) свойственна водам гидрокарбонатного аммониевого состава. Остальные химические типы (подтипы) – гидрокарбонатный, хло-

ридно-гидрокарбонатный и сульфатно-гидрокарбонатный с величиной минерализации тесной связи не имеют. Помимо минерализации, устойчивым критерием загрязнения грунтовых вод являются калий, аммоний, ортофосфаты, хлор, органическое вещество и растворенная углекислота. Общая площадь загрязнения грунтовых вод по изогалине 0,5 г/л оценивается приблизительно в 38 га. Сами источники загрязнения внутри этого контура едва достигают 7,5 га. Установлено также, что формирование свалочных растворов происходит в резко восстановительной обстановке в условиях метанового и углекислотного брожения. Это приводит к быстрому накоплению гидрокарбонат-иона и формированию углекислометанового состава растворенных газов. Распространение фронта загрязнения происходит вниз по грунтовому потоку вплоть до р. Ангары и далее по направлению ее течения.

Жилкинское нефтехранилище как техногенный объект представляет собой совокупность источников загрязнения преимущественно содержащих нефтепродукты. Основные элементы общей техногенной нагрузки здесь - эстакада загрузки нефтепродуктов в железнодорожные цистерны, насосная темных нефтепродуктов, парк темных нефтепродуктов, парк светлых нефтепродуктов - приближены к р. Ангаре на расстояние до 100-250 м. Достаточное представление о состоянии подземных вод было составлено по результатам опробования наблюдательной сети скважин предприятия, которыми вскрыт грунтовый водоносный горизонт аллювиальных четвертичных отложений высокой поймы (рис. 4-13). Забой большинства скважин находится в элювиальном

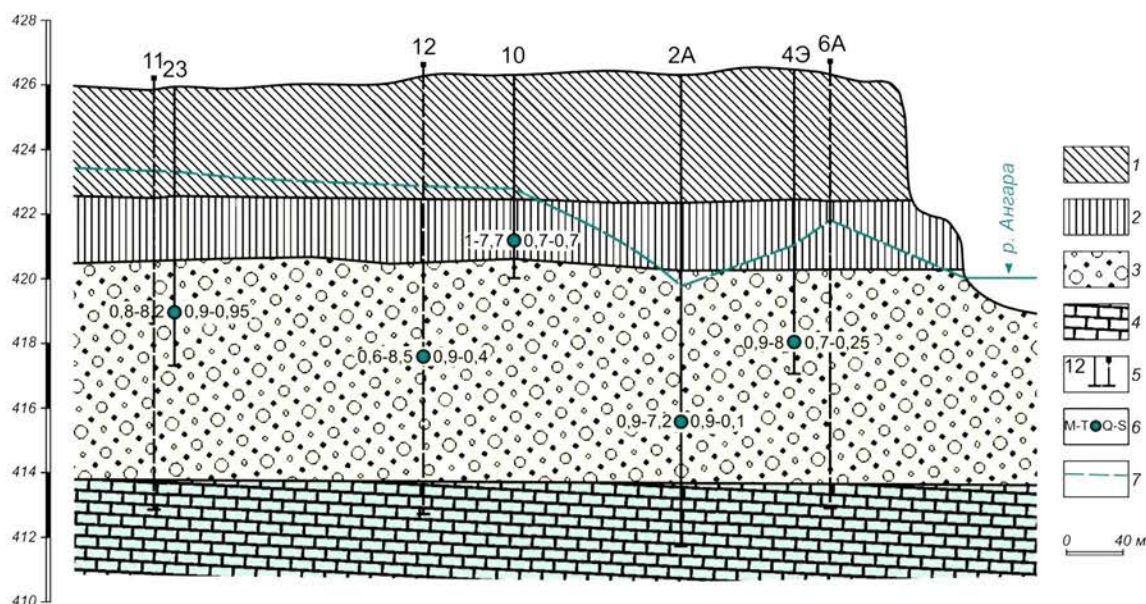


Рис. 4-13. Гидрогеологический разрез участка Жилкинской нефтебазы
1 – песок, супесь с редкой галькой; 2 – песок иловатый пылеватый; 3 – гравийно-галечниковые отложения; 4 – песчаник; 5 – скважины; 6 – слева минерализация (г/л) и температура (°C) подземных вод, справа дебит (л/с) и понижение уровня (м) подземных вод; 7 – уровень подземных вод, м

слое пород коренной основы и лишь несколько из них на 2-3 м углубились в слабо измененные песчаники.

Гидрогеологическая обстановка такова, что гидроизогипсы ориентированы субпараллельно руслу р. Ангары, а уклон потока в 200 м от берега не превышает 0,005-0,008. Уклоны возрастают по мере приближения к дренажной канаве и нефтеловушке до 0,008-0,010. Субпараллельность эквипотенциалей нарушается на участке между концом дренажной канавы и началом нефтеловушки. Деформация грунтового потока здесь произошла в результате совокупного влияния р. Ангары и искусственных дренирующих элементов. В связи с этим, в пространстве между канавами образовался подземный водораздел (рис. 4-13 и 4-14). В пределах границ изученной территории величина минерализа-



Рис. 4-14. Схематическая карта гидроизогипс грунтового потока Жилкинской нефтебазы [данные ЦГЭИ ИрГТУ (2006 г.), ИТЦГМГС (2011 г.) с изм.]
1 – скважина; 2 – гидроизогипс в абс. отм., м; 3 – граница территории базы

ции изменяется довольно широко: от 0,5 до 0,99 г/л (табл. 4-13). По материалам предыдущих исследований установлено, что на южной окраине площадки минерализация воды снижается до 0,36 г/л (скв. 12). Вероятно, этот уровень солености следует считать здесь в качестве фонового. К северу от фоновой области

Таблица 4-13

Химический состав подземных вод на территории Жилкинской нефтебазы

Скважина	рН/Еh, мВ	Компоненты состава вод, мг/л								М, г/л	Т, °С
		O ₂ /CO ₂	NH ₄	Na/K	Ca/Mg	HCO ₃ /SO ₄	Cl/F	NO ₃ /NO ₂	H ₄ SiO ₄		
2А	6,75/+130	0/103	1,81	39,4/3,8	114/39,6	639/<4,0	39,7/0,28	<0,4/0	36	0,93	7,2
4Э	6,71/+77	0/117	1,76	54,0/4,2	130/24,6	593/4,0	33,7/0,57	<0,4/<0,01	36	0,88	8,0
6А	6,90/+7,6	0/84	1,7	31/3,7	123/35,5	583/4,0	30,5/0,32	<0,4/0	22	0,83	7,8
8	7,09/+179	0,05/20	1	22,4/2,1	75,8/15,3	300/47,7	9,2/0,31	<0,4/<0,01	27	0,5	7,2
9	6,88/+66	0/69	1,3	39,4/3,8	115/32,6	547/4,0	36,2/0,38	<0,4/0	33	0,81	8,7
10	6,78/+159	0/126	1,72	29,3/3,7	144/39,4	693/<4,0	36,2/0,34	<0,4/<0,01	40	0,98	7,7
11	7,10/+265	1,36/31	1,78	47,7/3,1	99,4/35,8	408/97,5	36,5/0,66	<0,4/<0,01	22	0,75	7,2
14	7,17/+118	0/24	1,01	28,7/2,1	70,5/15,6	298/43,6	12,0/0,79	<0,4/<0,03	27	0,49	7,4
23	6,91/+154	0/53	1,78	42,3/2,9	120/32,6	486/51,5	56,0/0,37	<0,4/<0,01	30	0,82	8,2
24	6,68/+133	0/66	1,68	67,4/3	145/9,1	481/49,0	95/0,64	<0,4/<0,01	32	0,88	8,3
26	7,01/+143	0/64	1,75	39,5/3	112/34,3	468/65,2	49,6/0,35	<0,4/0	24	0,79	6,5
1	6,96/-240	0/79	2,12	34,6/4,8	127/37	598/4,0	42,6/0,4	<0,4/<0,01	36	0,88	9,7

соленость воды довольно быстро возрастает до 0,8 г/л. Наконец, в центральной части площадки минерализация достигает 1 г/л и далее к северу вновь медленно снижается до 0,8 г/л. Нетрудно заметить, что на большей части территории эквипотенциали и изогипсы пересекаются почти под прямым углом (рис. 4-15). А это означает, что увеличение минерализации грунтовых вод не связано с транзитным грунтовым стоком. Рост солёности обусловлен исключительно за счет основных источников загрязнения, расположенных в центре промплощадки (эстакада заливки автоцистерн, насосные нефтепродуктов, эстакада разгрузки нефтепродуктов). Концентрическое расположение изогалин 0,8-0,9 и 1,0 г/л хорошо иллюстрирует это заключение. Следовательно, можно сделать вывод о том, что зональность по величине минерализации возникла в результате техногенного воздействия источников загрязнения на грунтовый поток.

По всей видимости, повышение солёности подземных вод происходит в результате косвенного воздействия источников загрязнения, поскольку в химическом составе воды обычные поллютанты - хлориды, сульфаты, нитраты, щелочные металлы – присутствуют в незначительных количествах и рост минерализации происходит не за их счет. Химический состав воды отличается однообразием, он гидрокарбонатный магниевый-кальциевый. Иначе говоря, по этому признаку почти не отличается от естественного фона. Однако, несмотря на однотипность состава, совершенно отчетливо прослеживается зональность умеренной контрастности. Зональность выражена в виде изменяющейся концентрации сульфат-иона, который увеличивается с уменьшением минерализации воды. Такая связь не является обычной. Как правило, с ростом солёности происходит увеличение содержания SO₄, да и сама минерализация увеличивается преимущественно за счет сульфатов. Таким образом, происходящая десульфат-

тизация никак не связана с простым разбавлением, тем более, что разбавление в конкретных условиях обязательно привело к глубокому снижению минерализации.

В целом для площадки свойственна восстановительная и даже резко восстановительная обстановка с величиной $Eh +17...-240$ мВ. В этих условиях сульфат-ион теряет устойчивость и происходит быстрый процесс десульфатизации результате окисления органического вещества (нефтепродукты), поступающего в грунтовые воды. Признаки окисления органического вещества хорошо идентифицируются по глубокому обескислороживанию грунтовых вод и появлению в растворе конечного продукта окисления – диоксида углерода, количество которого достигает 126 мг/л. Интенсивная репродукция углекислоты подкисляет подземные воды и сдвигает карбонатное равновесие в сторону образования HCO_3 . Тот факт, что подкисление компенсируется буферной емкостью водовмещающих пород, не вызывает сомнений: в противном случае величина водородного показателя не являлась бы близко нейтральной, а увеличение минерализации воды за счет $Ca(HCO_3)_2$ не произошло. Помимо перечисленных признаков, укажем на тесную площадную корреляцию между контуром распространения нефтепродуктов в свободной фазе (рис. 4-15) и область наиболее низких значений (рис. 4-16) редокс-потенциала (Eh от условного нуля до -200

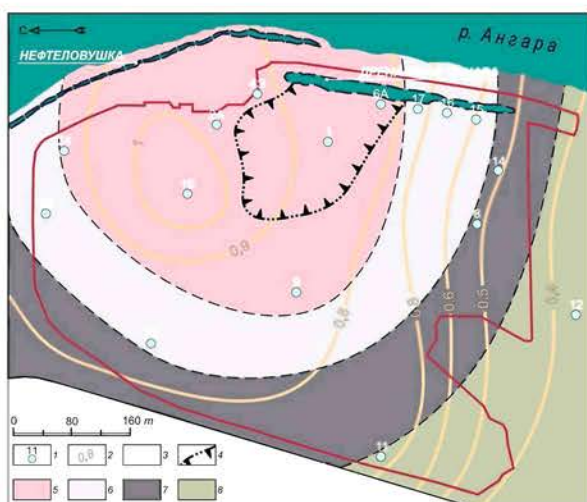


Рис. 4-15. Минерализация и химический состав подземных вод Жилкинской нефтебазы

1 - водопункты; 2- изогалины, г/л; 3 - граница нефтебазы; 4 - участок аномальной мощности нефтепродуктов; содержание SO_4 , мг-экв: 5 - <1 ; 6 - $1\div10$; 7 - $10\div20$; 8 - >20

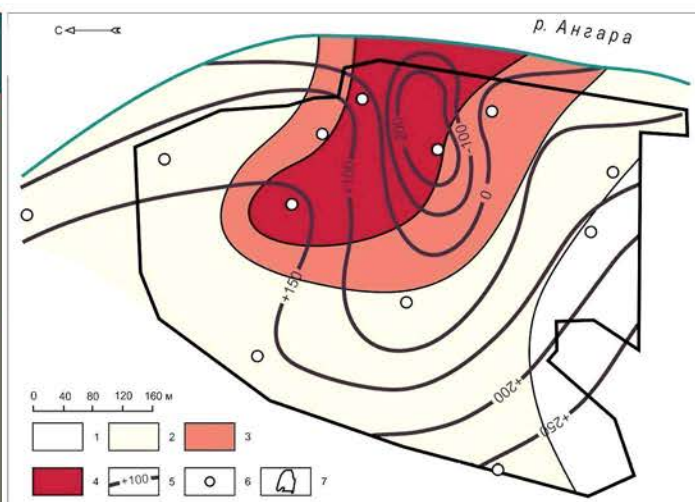


Рис. 4-16. Железо и марганец в подземных водах территории Жилкинской нефтебазы

Содержание $Fe+Mn$, в ПДК_{В.Р.}: 1 – менее 100, 2 – 100... 300, 3 – 300... 500, 4 – более 500; 5 – изолинии Eh , мВ; 6 – водопункты; 7 – граница нефтебазы

мВ). Прослеживается цепочка последовательных превращений (окисление органики, затем репродукция CO_2 и растворение $CaCO_3$), приводящих в конечном счете к повышению минерализации грунтовых вод без сколько-нибудь заметного изменения общего химического состава. Но если загрязнения грунтовых

вод нефтепродуктами привело к увеличению минерализации за счет трансформации $pH - Eh$ условий, то следует ожидать ещё больших изменений в микрокомпонентном составе воды.

В пробах воды были определены кобальт, кадмий, цинк, медь, никель, свинец, хром, марганец, стронций, литий и общее железо. Два элемента – цинк и стронций найдены во всех пробах в концентрациях, заметно превышающих ПДК (табл. 4-14). Также два элемента – железо и марганец присутствуют в таких содержаниях, что их влияние на поверхностные воды может представлять

Таблица 4-14

Микрокомпоненты в подземных водах на территории Жилкинской нефтебазы

№ скв.	Элементы состава, мкг/л										
	Co	Cd	Zn	Cu	Ni	Pb	Cr	Mn	Sr	Li	Fe
2А	<5	<2	20	<3	<3	<5	<10	2818	718	18	20125
4Э	<5	<2	49	<3	<3	<5	<10	4490	590	27	24062
6А	<5	<2	31	<3	<3	<5	<10	2940	478	19	11503
8	<5	<2	19	<3	<3	<5	<10	547	308	13	2593
9	<5	<2	27	<3	<3	<5	<10	1675	487	21	10208
10	<5	<2	63	<3	<3	<5	<10	4466	555	30	19980
11	<5	<2	27	<3	<3	<5	<10	2308	427	18	2852
14	<5	<2	47	<3	<3	<5	<10	1308	419	14	3500
23	<5	<2	27	<3	<3	<5	<10	766	573	19	7437
24	<5	<2	29	<3	<3	<5	<10	1278	581	16	11520
26	<5	<2	47	<3	<3	<5	<10	918	564	16	12687
1	<5	<2	21	<3	<3	<5	<10	3359	598	20	16480

опасность. Как видно из таблицы, концентрация марганца и железа в грунтовых водах достигает соответственно 4490 и 24062 мкг/л, что суммарно равно 689 ПДК.

На участках умеренно деформированного естественного фона суммарная концентрация $Fe+Mn$ не превышает 100-200 ПДК (рис. 4-16). По мере приближения к техногенной залежи нефтепродуктов количество закисного железа и двухвалентного марганца возрастает до 690 ПДК. Нарастание концентраций металлов происходит параллельно увеличению минерализации воды и быстрой трансформации обстановки со слабо окислительной до резко восстановительной. Наблюдаемое совмещение не случайно. Оно свидетельствует о том, что ураганное повышение содержание железа и марганца связано с восстановлением их неподвижных форм, входящих в состав водовмещающих пород зон аэрации и насыщения. При проходке скважин 2А, 6А, 9А, 13, 14 (в 1995 г.) до глубины 6-7 м встречены зеленовато-серые пески. Вне площади с $Eh > +150$ мВ зеленоватые пески не обнаружены. Таким образом, окисные формы марганца и железа в условиях восстановительной обстановки становятся подвижными, обогащая грунтовые воды закисными формами. Вынос железа в Ангару был хорошо замечен - на южной границе цеха выше по потоку железа в воде 6,5 ПДК, а на северной уже 15,6 ПДК.

Вполне понятно, что для г. Иркутска площадка ООО “Иркутск-Терминал” является одним из многих источников техногенного загрязнения подземных вод. Грунтовые воды на промплощадке имеют повышенную минерализацию воды, гидрокарбонатный состав, преимущественно восстановительные условия и ураганную концентрацию железа и марганца, суммарно достигающую до 690 ПДК. На протяжении последнего десятилетия гидрогеологические условия по площадке остаются по существу неизменными. Здесь прослеживается расширение техногенного пятна в размерах с сопутствующей процессу обстановкой. Мероприятия, выполненные в целях улучшения экологической обстановки, были направлены на предотвращение попадания нефтепродуктов в свободной фазе в р. Ангару. Однако при этом источники загрязнения не локализованы и, следовательно, поступление нефтепродуктов грунтовый поток продолжается. Именно из-за этого нефтепродукты в эмульгированной и растворенной форме, железо и марганец, минуя все вновь созданные и имеющиеся преграды, окажутся в русловой зоне реки Ангары.

Новоиркутская ТЭЦ размещена на юго-западной окраине г. Иркутска, на левом склоне долины р. Кая. Здесь на большом участке территории располагается один из самых значимых объектов города, производящий тепловую энергию. В гидрогеологическом отношении производственный объект такого масштаба несомненно влияет на подземные воды и совершенно точно может рассматриваться как источник техногенной нагрузки. На предприятии имеются золоотвал, пруды-отстойники, градирни, системы водоотведения и другие объекты, взаимосвязь которых с подземными водами достоверно была установлена ранее при осуществлении мониторинговых и исследовательских работ специализированными организациями (ИГУ, ИрГТУ, НПФ “Геомикс”, Иркутскгеофизика, ВНИПИЭнергопром, ВНИИ гидротехники им. Б.Е. Веденеева). В настоящее время основные параметры фильтрационного потока обрели пространственно-временные рамки и получили количественную и качественную оценку. Далее хотелось бы осветить техногенную компоненту подробнее на основе исследований золоотвала ТЭЦ.

Золоотвал Ново-Иркутской ТЭЦ введен в эксплуатацию в 1976 г. и расположен в левобережной пади Межевое болото долины р. Кая в 0,7 – 1,5 км от западной окраины пос. Марково (рис. 4-17). Основные гидрогеологические исследования ранее здесь выполнялись в границах золоотвала (1990-92, 1997, 2009 гг.) и прилегающих площадок. Оценить произошедшие изменения с подземными водами можно сравнив информацию о природной обстановке в момент до сооружения золоотвала на рассматриваемой территории, когда была проведена гидрогеологическая съемка масштаба 1:50000 Сироткиным Л.А. и др. (1964 г.). Было зафиксировано, что на прилегающем окрестном водосборе пади Межевое болото имелись малodeбитные родники (0,1-0,2 л/с) с весьма низкой минерализацией до 0,2 г/л и температурой в 1,5-2,0 °С. При этом в химическом составе воды практически отсутствовали сульфаты и хлориды. В днище пади в теплое время года существовал водоток. Его отсутствие в холодный период означало, что, по крайней мере, на уровне дренирующего влияния пади разгрузка грунтового потока имела номинальное значение. Грунтовый по-

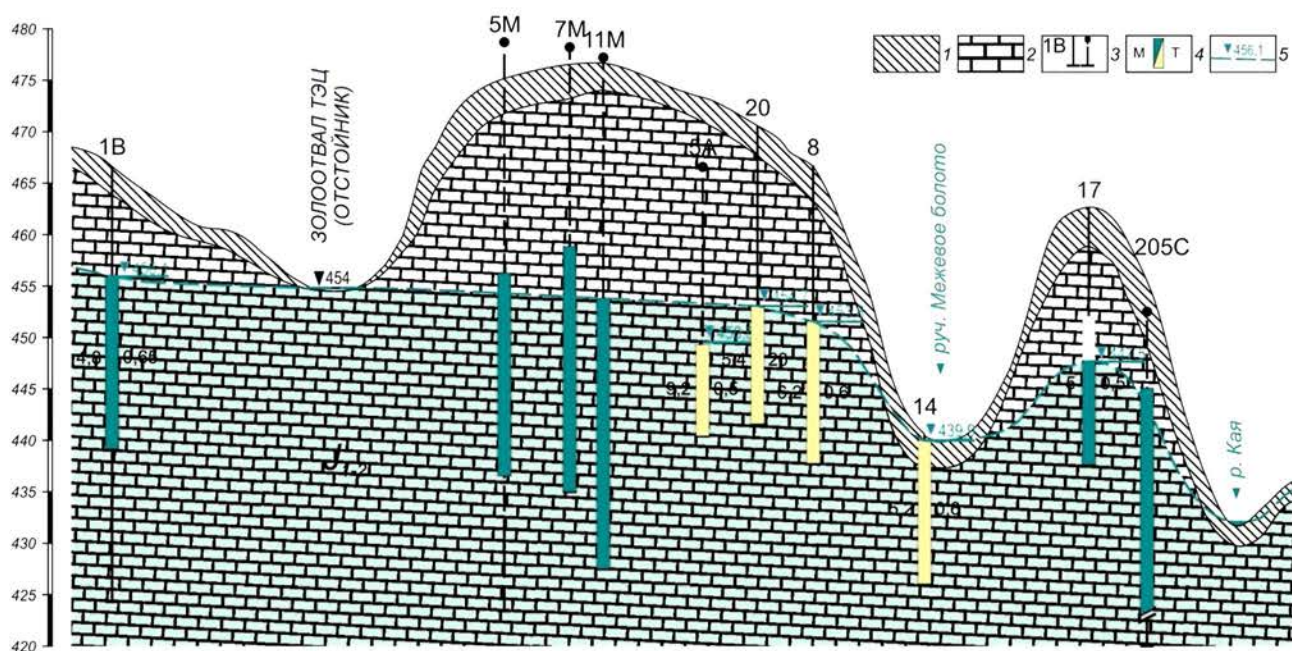


Рис. 4-17. Гидрогеологический разрез участка золоотвала Ново-Иркутской ТЭЦ
 1 – делювиальные и аллювиальные четвертичные отложения; 2 – юрские коренные отложения; 3 – скважины; 4 – водоносный интервал скважины, слева минерализация (г/л), справа температура воды (°C), желтым цветом воды с превышением содержания сульфатов; 5 – уровень подземных вод

ток обладал в целом небольшой производительностью: модуль подземного стока не превышал $0,2-0,3 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$. Химический состав грунтовых вод являлся типично гидрокарбонатным с исчезающе малой концентрацией сульфатов и хлоридов и минерализацией $0,4-0,5 \text{ г/л}$. Такими данными характеризовались условия естественного фона в тот момент времени.

Через 5 лет после сооружения золоотвала в 1981 г. гидрогеологические исследования в приплотинной зоне провели сотрудники ИГУ с продолжением до 1983 г. Были обследованы и опробованы все значимые техногенные родники. Установлено, что в области разгрузки фильтрационного потока в химическом составе воды начинают преобладать сульфаты. При этом наблюдаются высокие концентрации фтора ($2,0-2,5 \text{ мг/л}$). Стал ясным факт того, что сформировался техногенный водоносный горизонт гидрокарбонатно-сульфатного состава. Количество сульфатов в отдельных родниках достигало $160-200 \text{ мг/л}$ при общей минерализации воды $0,4 \text{ г/л}$. Эти работы подтвердили факт разгрузки фильтрационного потока на участке правобережного примыкания дамбы золоотвала. Между тем, напорная разгрузка в основании дамбы была не замечена, а выдавалась за разгрузку естественного потока. Позднее подтвердились фильтрационные потери через основание дамбы и в связи с этим процессом стали осуществляться редкие замеры, показавшие крайнюю изменчивость расходов и их зависимость от эксплуатационного режима золоотвала. Нужно отметить, что время от времени на объекте выполнялись инженерно-геологические изыскания, давшие возможность оперировать хоть какими-то данными в разрезе изучаемого объекта, а вот гидрогеохимическое опробование практиковалось редко. Только начиная с 1991 г. при сооружении скважин мониторинговой сети гидро-

геохимическое опробование стало более или менее постоянным. Пробы с месячной периодичностью отбираются из самого крупного субаэрального очагового выхода фильтрационного потока, расположенного на правобережном примыкании плотины. Имеющаяся выборка наблюдений позволила установить, что величина сухого остатка варьирует в пределах 180-490, сульфатов 110-270 и фтор 1,3-4,1 мг/л. Такой размах изменений не может быть обеспечен только естественными причинами: очевидно, что решающее влияние на процесс оказывает эксплуатационный режим золоотвала.

С образованием золоотвала возник техногенный водоносный горизонт, который постепенно слился с естественным грунтовым потоком. Оба горизонта отличались друг от друга по составу воды и температуре. Решительное преобладание техногенного горизонта в количественном отношении привело к тому, что в зоне наибольшего влияния золоотвала химический облик подземных вод коренным образом изменился. Подтверждением этому служит результат сравнительного анализа гидрогеологических исследований, проведенных в начале 60^х годов, когда бассейн р. Каи еще находился в “первозданном” состоянии. Результаты настоящего времени показали, что по химическому составу грунтовые воды ранее являлись типичными гидрокарбонатными щелочноземельными растворами. В анионной группе состава практически отсутствовали сульфаты и хлориды, фоновое содержание которых не превышало соответственно 4 и 3 мг/л. Из форм минерального азота отмечалось присутствие нитратов до 1 мг/л и солевого аммония до 0,1 мг/л. И только на территории в сторону от Иркутска в направлении пос. Марково (хозяйство в устье руч. Межевое болото) отмечалось повышенное содержание сульфатов, хлоридов, нитратов и нитритов. Грунтовые воды были насыщены кислородом примерно до 40-50 %, содержали в заметных количествах углекислоту до 40-55 мг/л, отличались повышенной концентрацией кремнекислоты до 20-32 мг/л H_4SiO_4 . В воде отсутствовало закисное железо, а содержание фтора не превышало 0,2 мг/л. Минерализация воды обычно находилась в рамках 0,4-0,5 г/л. Подобное состояние грунтовых вод почти соответствует естественному фону.

На гидрогеохимической карте (рис. 4-18) видно, что на правобережье влияние золоотвала вглубь склона распространилось не более чем на 150 м. Причем в нижнем бьефе это воздействие простирается в сторону долины р. Каи всего на 450-500 м. Вне очерченного контура сохранились условия ненарушенного режима. На левобережье золоотвала обстановка складывается менее благоприятно. Здесь грунтовые воды естественного состава почти полностью замещены трансформированными техногенными растворами. Результаты анализа проб воды из скважин помещены в табл. 4-15. Достаточно беглого взгляда на них, чтобы сделать заключение об относительной однородности фильтрационного потока по величине минерализации. Соленость воды большинства проб не выходит за пределы 400-500 мг/л, и лишь одна проба показала повышенную в 627 мг/л минерализацию (скв. 3). Таким образом, можно сделать вывод о том, что по величине минерализации фильтрационный поток очень близок к уровню естественного фона. Что же касается химического состава, то различия носят уже радикальный характер. По химическому составу фильтрационный поток

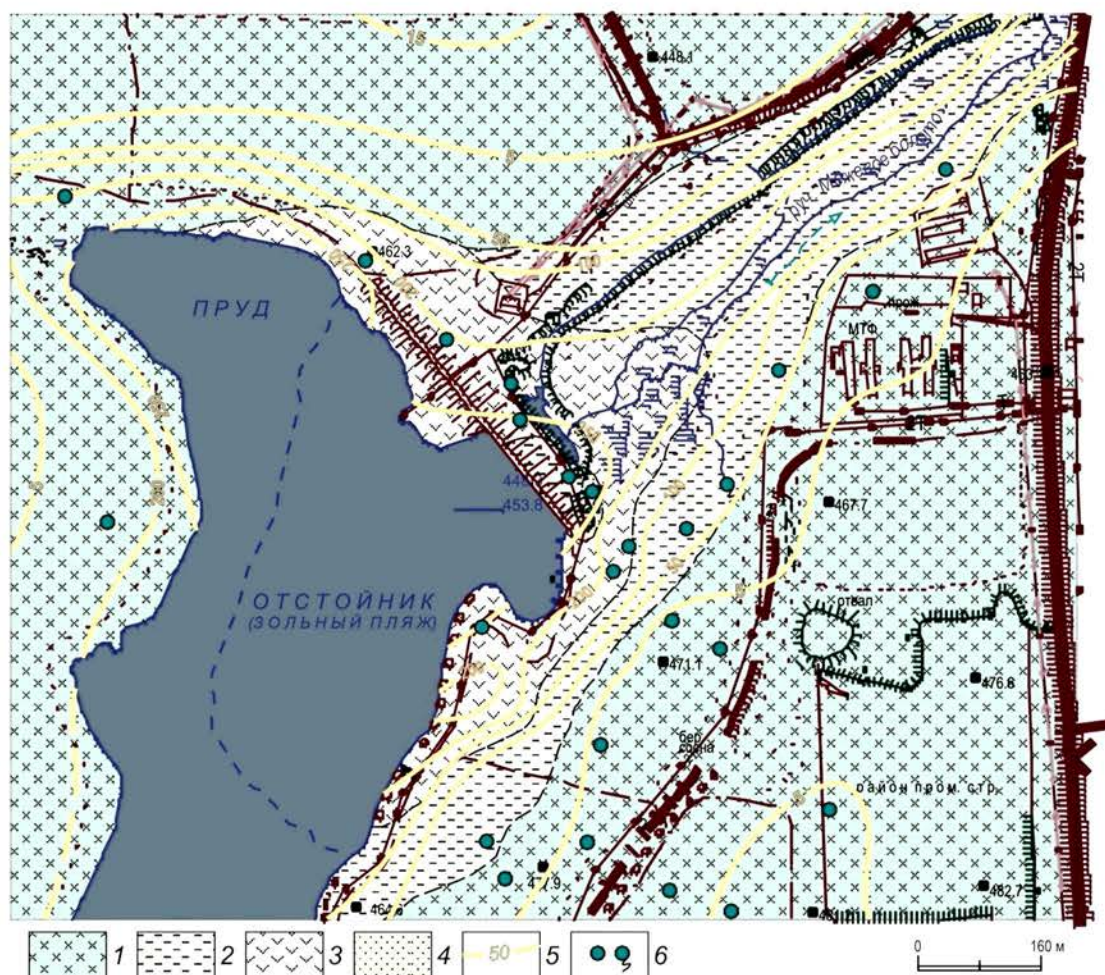


Рис. 4-18. Фрагмент гидрогеохимической карты (приплотинный участок золоотвала Ново-Иркутской ТЭЦ)

Химический состав подземных вод: 1 - гидрокарбонатный; 2 - сульфатно-гидрокарбонатный; 3 - гидрокарбонатно-сульфатный; 4 - карбонатно-сульфатный; 5 - изолинии концентрации сульфатов, мг/л; 6 – водопункты

Таблица 4-15

Основные компоненты состава подземных вод по скважинам в районе золоотвала Ново-Иркутской ТЭЦ

№ скв.	Н, м	Т, °С	рН	Компоненты химического состава, мг/л						
				O ₂	CO ₂	HCO ₃	SO ₄	F	K	Sr
3	13.0	4.4	6.95	1.19	28	134	231	0.85	-	0.47
5	22	7.7	7.05	1.38	20	220	154	2.90	1.42	0.31
5a	25.5	7.5	6.90	1.75	24	98	227	2.10	1.27	0.46
6	19	8.1	7.50	1.86	32	134	184	1.25	-	0.56
7	26.5	5.6	7.00	1.69	35	305	104	130	0.96	1.17
9a	13	-	7.00	0.95	18	98	194	2.00	-	0.31
9	14.5	-	7.00	0.32	26	134	202	2.00	-	0.31
11	18	6.2	7.25	1.96	40	195	166	0.65	-	0.62
12	18	5.0	7.30	2.23	47	342	70	0.49	0.92	0.23
12a	10	4.0	7.00	3.44	63	415	12	0.63	1.09	0.38

совершенно отчетливо распадается на четыре зоны. Межзональные границы, пространственная ориентировка и морфологические особенности зон целиком определяются гидрогеодинамикой фильтрационного потока.

Первая гидрогеохимическая зона, представленная гидрокарбонатными магниевыми-кальциевыми водами, обнаружена на левобережье пади Межевое болото. Она вскрыта и опробована шестью скважинами (8, 8а, 12а, 13, 15 и 16). Нужно сразу указать, что присутствие гидрокарбонатных вод в фильтрационном потоке незначительно. В основном эти воды принадлежат естественному грунтовому стоку. В зоне влияния золоотвала гидрокарбонатные воды совмещаются с участком весьма низкой проницаемости. Для этого химического типа характерна простота состава. Гидрокарбонат-ион составляет 94-99%-экв. В катионной группе состава присутствуют почти исключительно кальций и магний в отношении $1,54 \div 1,94$ (гСа/гMg). Отличительной особенностью состава является относительно повышенное содержание кремнекислоты (H_4SiO_4) - от 20 до 30 мг/л, что намного больше, чем в исходных водах. Высокому содержанию гидрокарбонат-иона соответствует фоновая концентрация диоксида углерода от 40 до 80 мг/л. В воде содержатся на фоновом уровне фтор (0,3-0,5 мг/л) и полностью отсутствуют нитраты и нитриты. Укажем еще на низкое содержание растворенного кислорода (0,2-1,0 мг/л), которое сопровождается появлением закисного железа до 2 мг/л. Весь облик гидрокарбонатных вод говорит о том, что фильтрационный поток на правобережье довольно жестко блокируется водораздельным блоком слаботрешиноватых пород.

Ниже по склону четко прослеживается узкая зона в 60-120 м сульфатно-гидрокарбонатных магниевых-кальциевых вод, вскрытых четырьмя скважинами №7, 10, 11, 12. Доля сульфатов в анионной группе состава колеблется от 21 до 41 %-экв. Воды подобного состава свойственны напорной разгрузке фильтрационного потока и в днище долины вскрыты скв. 10. Пространственно сульфатно-гидрокарбонатные воды тяготеют к зонам средней и весьма высокой проницаемости. Как и в предыдущей гидрохимической зоне, здесь существует нейтральная среда и, судя по содержанию нейтрального кислорода (0,8-1,0 мг/л), слабо восстановительная обстановка. Об этом так же свидетельствует слабый запах сероводорода и значительное содержание закисного железа (0,3-2,4 мг/л). Важным моментом является почти полное отсутствие минеральных форм азота. Количество кремнекислоты довольно высокое: 22-28 мг/л. Катионная группа состоит преимущественно из кальция и магния в отношении $1,6 \div 1,8$ гСа/гMg). В несколько больших размерах встречается натрий, однако его концентрация едва доходит до половины классификационного минимума (10 %-экв.).

На присклоновом правобережном участке долины, в верхнем и нижнем бьефах золоотвала залегают гидрокарбонатно-сульфатные воды с содержанием сульфатов 49-75 %-экв. На левобережном склоне пади Межевое болото иных вод, кроме этих, не обнаружено. Гидрогеохимическая зона неплохо изучена: она вскрыта и опробована восемью скв. №2, 3, 4, 5, 5а, 6, 9 и 11. На правобережье гидрокарбонатно-сульфатные воды целиком размещаются в зоне высокой проницаемости. В этой связи уместно сделать заключение, что с повышением

проницаемости водовмещающих пород растет сульфатность подземных вод. Этот вывод верен только для правобережья. На левобережье воды аналогичного состава и в целом большей сульфатности связаны с зоной весьма низкой проницаемости. По-видимому, разные причины приводят к одним и тем же последствиям.

Четвертая гидрогеохимическая зона, весьма скромных размеров, примыкает к низовому откосу правого плеча дамбы. Она картируется по группе восходящих родников (грифонов). Три предыдущие зоны генетически однородны и представляют собой лишь следующие друг за другом стадии одного и того же процесса преобразования сточных вод. Что же касается четвертой зоны, то она выпадает из этой последовательности. Прежде всего, рН этих вод преимущественно щелочная и по составу они карбонатно-сульфатные. В годовом цикле количество карбонатов может падать ниже классификационного минимума и тогда формально вода становится гидрокарбонатно-сульфатной. Во-вторых, концентрация кремнекислоты снижается до 6-9 мг/л. В-третьих, примерно в два раза возрастает содержание калия, в воде появляются значимые количества аммонийного иона (до 3 мг/л), концентрация фтора резко возрастает до 2,5-3,0 мг/л. В четвертых, коренным образом меняется отношение rCa/rMg . Для большинства проб оно равно 2,9-4,6, а в двух родниках доходит до 12,5 и 62,8. По этой причине в классификационную схему зачастую попадает только один кальций, и воды становятся карбонатно-сульфатными кальциевыми. Таким образом, сравнив эти воды с пульпой и осветленной водой, приходим к выводу, что четвертая гидрогеохимическая зона является слабо преобразованным дериватом сточных вод. Иными словами, вода прудка или пульпы непосредственно попадает на контур напорной разгрузки.

Микроэлементный состав подземных вод в границах техногенного объекта также ранее был изучен по ряду элементов - главным образом тяжелым металлам, которые являются токсикантами и, следовательно, экологически опасными. Некоторые элементы состава являются специфичными для сточных вод и поэтому их определяли с целью использования в качестве маркеров в системе мониторинга фильтрационного потока для понимания происходящего гидрогеохимического процесса.

Фильтрационный поток в зольных и покровных отложениях претерпевает достаточно глубокое преобразование, и на различных этапах водообмена с ним происходит процесс обогащения или обеднения по отношению к исходному состоянию. Изначальная составляющая этого фильтрационного потока жидкая фаза пульпы содержит почти весь набор микрокомпонентов. Причем ряд элементов - никель, циркон, хром, железо, бор имеет максимальные концентрации. Раствор накапливается в прудках, а затем из него вода через зольные отложения и пойменные образования фильтруется в сторону дамбы. По данным Шенькмана Б.М. (1997 г.) дальнейший переход фильтрационного потока в коренные породы сопровождается трансформацией микрокомпонентного состава по Li, F, Si, Al. Общий характер происходящих изменений при этом процессе сводится к снижению концентрации микрокомпонентов в сторону водораздела и вниз по потоку на правобережье. На левобережье особенности пространственного рас-

пределения бора, лития и фтора сохраняются, но процесс этот проявляется менее интенсивно. Связано это с тем, что на левобережье начало формирования фильтрационного потока приходится на коренные породы, а зольные и покровные отложения в этом процессе почти не участвуют. С глубиной опробования содержание микрокомпонентов здесь медленно падает. Одновременно по микрокомпонентному составу сделан вывод о “прямоточной” связи, которая существует, вероятно, между прудком и правым примыканием дамбы на участке основания нижнего откоса. В воде грифонов (род. 10а) содержание ванадия почти равно таковому в осветленной воде. Столь же высокая концентрация молибдена, стронция, особенно лития и алюминия.

Анализ имеющихся материалов по производственной площадке ТЭЦ достаточно убедительно показал сложную гидрогеологическую обстановку. Сложность обусловлена самой структурой водного баланса на различных этапах эксплуатации объекта. Кроме того, действующий золоотвал как крупный источник техногенного воздействия является фильтрующим сооружением с постоянно меняющимся расходом фильтрационного потока и химическим составом воды. Ряд компонентов химического состава подземных вод контролируется постоянно, позволяя тем самым отслеживать происходящие изменения во временной срезке. Благодаря этим данным вполне ясно на настоящий момент, что сульфаты, фтор, никель, медь заметно превышают ПДК_{в.р.}, создавая известную экологическую опасность для природной гидрогеологической обстановки. Также нужно отметить, что оказываемое влияние техногенного объекта на подземные воды пространственно весьма ограничено, что частично растягивает процесс загрязнения, делая его тем самым менее заметным.

4.3. Химическая зональность подземных вод как результат техногенного воздействия и уровень трансформации естественного фона

В предыдущей главе (4.2) рассмотрены объекты техногенного воздействия, имеющие довольно локальное техногенное влияние в границах города. Наиболее яркой и масштабной по гидрогеохимическому преобразованию видится антропогенная метаморфизация подземных вод в результате возведения Иркутской ГЭС, процесс которой излагается далее. Как видно из вышеизложенного рассмотрения нескольких техногенных объектов, общий гидрогеологический процесс отслеживается в векторе смены фоновой нетронутой обстановки на ухудшение качественного состояния. Особо крупное строительство Иркутского гидроузла, первого из всего Ангарского каскада ГЭС, выполненное более 60 лет назад, изменило естественный гидрологический режим и повлекло за собой трансформацию гидрогеологических условий в верхнем и нижнем бьефах. Нарушение исходной гидрогеологической обстановки коснулось геологической среды, вызвало гидрогеодинамическую и гидрогеохимическую деформацию, приведшую к позитивным и негативным последствиям.

Изначальная гидрогеологическая обстановка при бытовом режиме р. Ангары до строительства ГЭС характеризовалась в границах города как слабо измененная в застроенных и обжитых местах (правобережье, днище Ушаковки и Ангары), а вне городской застройки условия соответствовали естественному фону. Сведения того времени о подземных водах (табл. 4-16) изложены в нескольких публикациях, в отчетах по поисковым работам на полезные ископаемые, а также имелись в данных инженерных изысканий под строительство гидроузла авторов Титова Н.А., Крикщюнаса В.К., Филюка А.Г., Емельянова В.А., Никанорова Ф.Я. и др. Качественное состояние подземных вод аллювиальных отложений надпойменных террас в границах города характеризовалось повсеместным распространением многокомпонентных соленоватых растворов с преобладанием нитратов, хлоридов и сульфатов. Наличие последних совершенно не свойственно грунтовым подземным водам ненарушенных условий (рис. 4-19). Заметно было качественное истощение грунтовых вод пород коренной основы, распространившееся в границах застроенных площадей. По имеющимся результатам анализов минерализация воды достигает 2 г/л, а в химическом составе большую роль также играют нитраты, сульфаты, хлориды и щелочные металлы.

Ниже по разрезу пород коренной основы напорные воды залегают уже в днище долины р. Ангары. Здесь они распространяются непосредственно под аллювиальными отложениями поймы, а водоупорной кровлей им служит слой супеси и суглинков элювия. В таком общем виде межпластовых этажно расположенных водоносных горизонтов прослеживается своеобразная вертикальная гидрогеохимическая зональность, которая подробно рассмотрена ранее в главе 4.1. Наиболее высокое гипсометрическое положение занимают бессульфатные воды, насыщенные метаном. В низах юрской толщи залегают сульфатно-хлоридные воды, которые по химическому составу являются аналогами рассолов нижнекембрийских отложений. Субгоризонтальное положение гидрогеохимических границ нарушается появлением в днище долины Ангары сероводородных вод, прорывающих всю метансодержащую подзону. Более того, вдоль тектонически ослабленных зон сероводородные воды проходят содовые воды, разгружаясь непосредственно в подземные воды пойменных отложений. Такова была гидрогеохимическая обстановка до момента затопления и преобразования условий образованием водохранилища Иркутской ГЭС.

Возведение плотины Иркутской ГЭС поделило рассматриваемый участок долины в границах города на два фрагмента - верхний бьеф и нижний бьеф. В каждом из фрагментов гидрогеохимический процесс стал протекать достаточно индивидуально. В границах верхнего бьефа на стадии гидрогеодинамической активности произошла существенная перестройка гидрогеологических условий. По мере увеличения подпорного уровня водохранилища происходило увеличение отметок пьезометрической поверхности напорного водоносного горизонта. Дальнейшее повышение уровня водохранилища привело к росту мощности грунтового водоносного горизонта. На завершающем этапе заполнения закончился процесс формирования напорного техногенного

Таблица 4-16

Состав подземных вод аллювиальных отложений надпойменных террас и пород коренной основы в границах городской застройки 60^х гг.

№ скв.	pH	М, г/л	Компоненты химического состава, мг/л								
			HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Ca	Mg	Na+K
Аллювиальные отложения надпойменных террас											
17	8,1	2,36	1540	74,5	130	H/O	H/O	H/O	78	67,6	470
18	7,4	4,34	2169	214	897	15	15	60	241	264	554
380	6,7	1,62	634	257	284	2,0	-	10,5	214	80	132
718	7,4	3,13	1528	220	387	5,0	180	50,5	272	127	361
728	7,0	2,02	460	312	337	13	426	24	320	100	125
4736	6,9	1,51	506	464	235	0,9	90	5,5	182	84	132
4041	7,1	1,31	286	186	198	6	281	5,0	150	61	177
136	7,2	1,36	498	275	209	0,5	160	0,2	202	63	171
381	6,9	2,15	964	351	265	H/O	H/O	H/O	198	98,4	302
386	6,9	1,58	683	153	330	H/O	H/O	H/O	196	78	140
391	6,7	1,17	671	54,5	166	H/O	H/O	H/O	132	79,2	64
607	6,8	1,12	512	126	237	H/O	H/O	H/O	106	45,6	96,4
610	7,1	1,63	494	265	423	H/O	H/O	H/O	248	81,6	120
727	6,5	0,82	329	103	166	H/O	H/O	H/O	84	39,6	98,9
3888	7,0	0,94	439	166	49,4	H/O	H/O	H/O	222	63,6	-
3904	7,1	0,31	207	8,2	21,4	H/O	H/O	H/O	50	18	6,2
Породы коренной основы											
56129	7,1	1,12	537	191	48	H/O	H/O	H/O	268	72,8	-
56138	8,2	0,96	402	192	62,5	H/O	H/O	H/O	11,6	2,3	293
56139	7,0	1,02	348	188	205	H/O	H/O	H/O	143	60,1	74
56145	6,9	1,04	360	257	45	H/O	H/O	H/O	142	82	32
56147	7,1	1,84	573	329	114	H/O	H/O	H/O	354	118	-
56148	7,3	1,21	390	242	120	H/O	H/O	H/O	224	86,8	-
202	7,1	0,37	244	2,3	18,1	H/O	H/O	H/O	70	31,2	3,2
205	7,0	0,30	201	5,7	18,1	H/O	H/O	H/O	46	9,6	16,8
56121	6,9	0,58	424	5,7	21,4	H/O	H/O	H/O	84	32	16,1
56126	7,0	0,34	238	23	0,4	H/O	H/O	H/O	25	23,4	30,4
56127	7,5	0,32	219	8,2	18	H/O	H/O	H/O	40	16,8	23
56128	7,1	0,48	354	4,2	0,1	H/O	H/O	H/O	93	27,7	1,2
56132	7,8	0,20	424	5,7	21,4	H/O	H/O	H/O	84	32	16,1
56133	7,7	0,32	238	23	0,4	H/O	H/O	H/O	25	23,4	30,4
56134	7,2	0,57	219	8,2	18	H/O	H/O	H/O	40	16,8	23
56142	6,9	0,64	222	212	12,3	H/O	H/O	H/O	106	26	52
56144	6,9	0,79	476	107	10	H/O	H/O	H/O	139	48,6	0,7

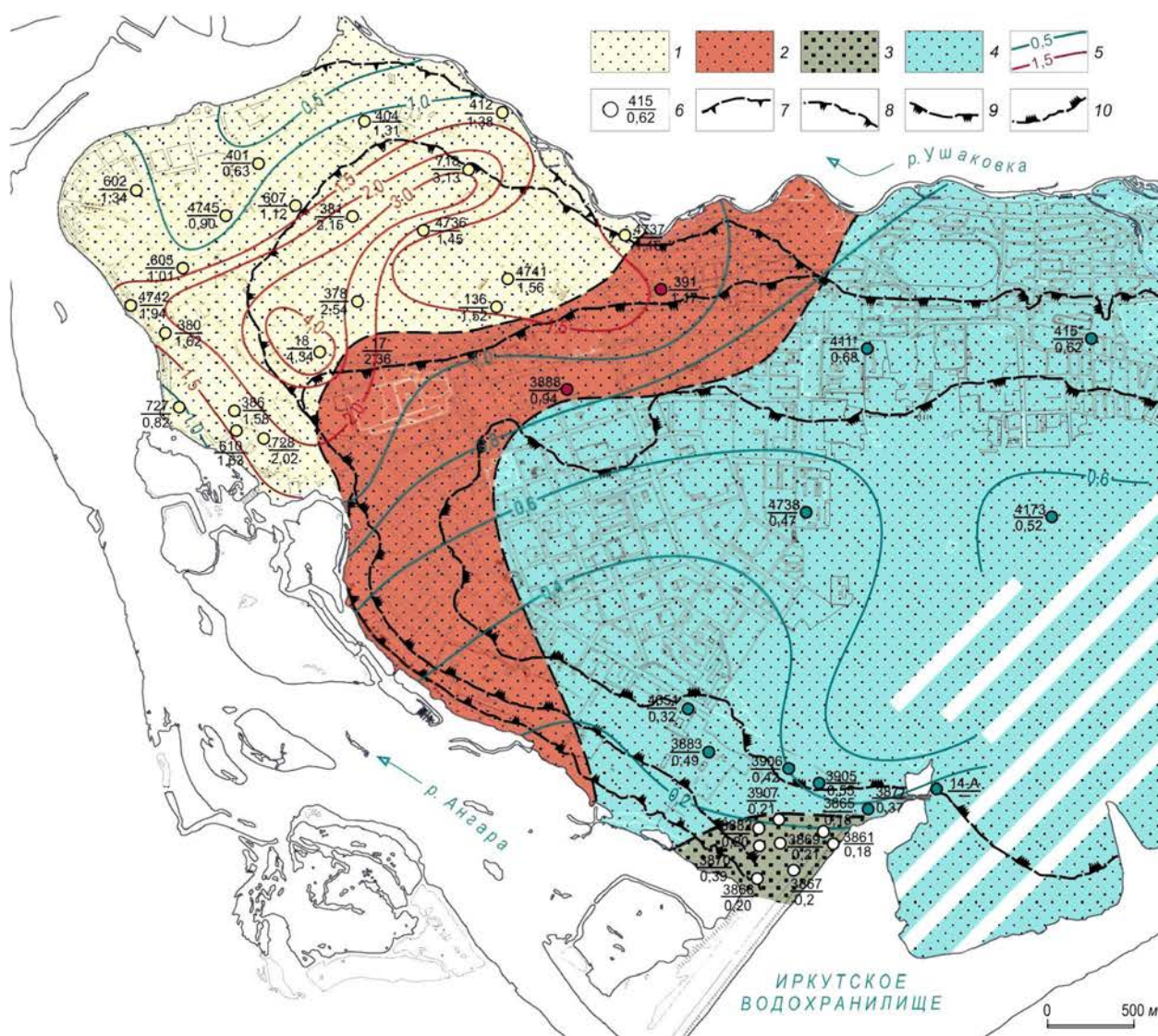


Рис. 4-19. Фрагмент схематической гидрогеохимической карты аллювиальных отложений правого берега р. Ангары на момент 1960^х гг. [по мат. Шенькмана Б.М. (2006 г.); Крикщюнаса В.К. (1956-58 гг.); Филюка А.Г. (1959 г.); Никанорова Ф.Я. (1960 г.)]

1-4 - химический состав воды: 1 – сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный магниево-натриево-кальциевый; 2 – хлоридно-гидрокарбонатный магниево-кальциевый; 3 – сульфатно-гидрокарбонатный магниево-кальциевый; 4 – гидрокарбонатный магниево-кальциевый; 5 – изогалины, г/л (красным более 1 г/л); 6 – скважина: в числителе – номер, в знаменателе – минерализация воды, г/л; 7-10: цокольные уступы террас: 7 – первой; 8 – второй; 9 – третьей; 10 – четвертой

водоносного горизонта аллювиальных отложений третьей надпойменной террасы (рис. 4-20), наступил квазистабильный уровенный режим, обусловленный небольшой ~1,5 м годовой амплитудой колебания уровня самого ложа водохранилища. В этих условиях стабилизировались гидрогеохимические процессы. В породах коренной основы уменьшилась минерализация воды до 0,25-0,35 г/л, практически полностью устранилась высокая концентрация за-

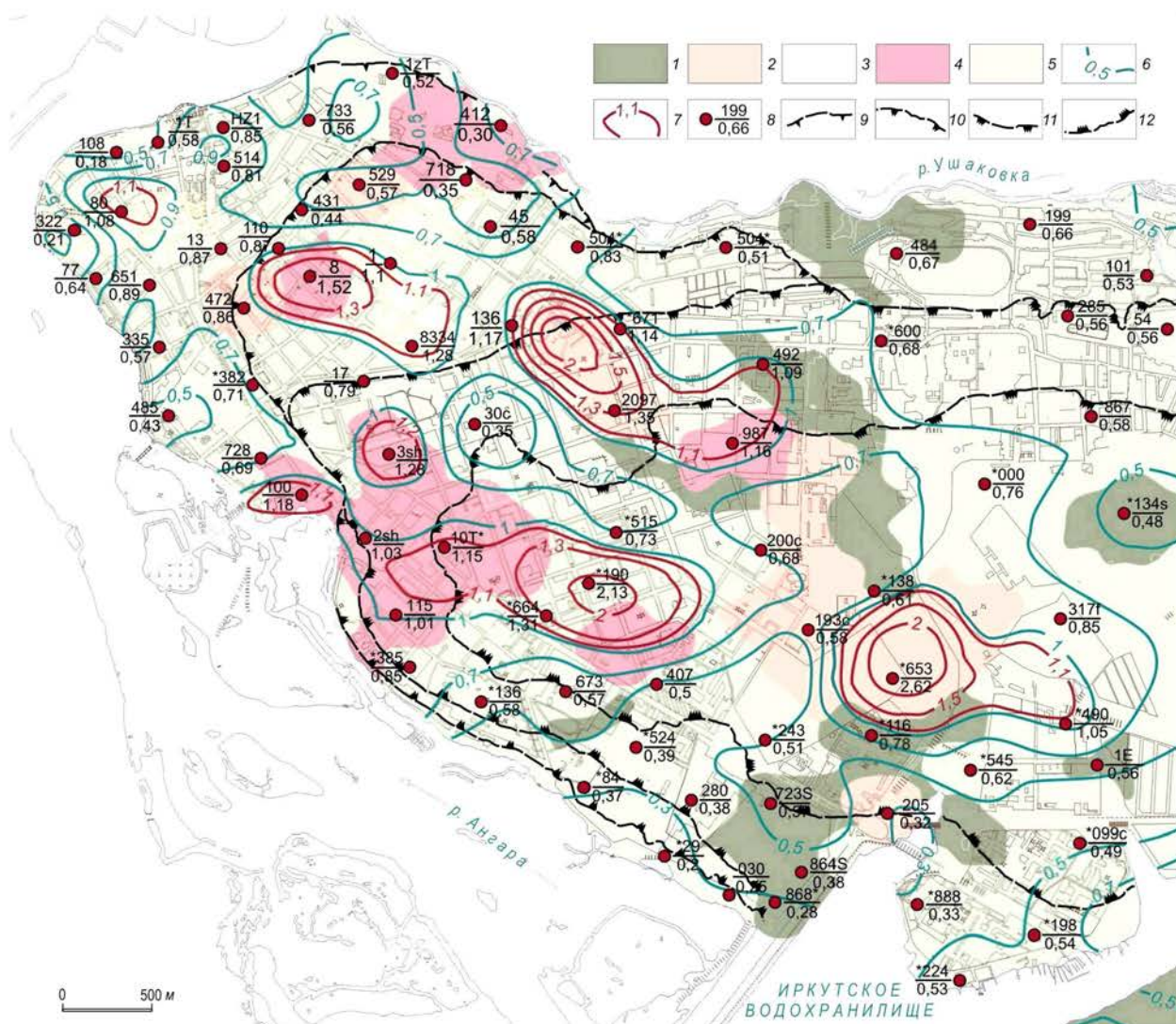


Рис. 4-20. Схематическая гидрогеохимическая карта состояния подземных вод отложений правого берега р. Ангары на момент 2000-2010 г.

1-5 – химический состав воды: 5 - гидрокарбонатный магниевый-кальциевый; 2 – сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный магниевый-кальциевый; 3 – сульфатно-гидрокарбонатный магниевый-кальциевый; 1 - гидрокарбонатный кальциевый-магниевый; 4 – смешанный состав воды с анионной (HCO_3^- - Cl^- - SO_4^- - NO_3^-) и катионной (Ca - Mg - Na - K) группами; 6 и 7 – изогалины, г/л (красным более 1 г/л); 8 – скважина, в числителе – номер, в знаменателе – минерализация воды, г/л; 9-12: границы цокольных уступов террас 9 – первой, 10 – второй, 11 – третьей; 12 – четвертой

кислого железа и марганца, характерная для юрских угленосных отложений.

Внедрение в зону подпора ультрапресных пересыщенных кислородом (до 110-120%) речных вод привело к ее эффективному кондиционированию. Вода насыщается кислородом до 60-70%, полностью деградирует аммоний и минерализация снижается до оптимальной величины в 0,3-0,4 г/л, а также происходит полное окисление сероводорода с очищением от железа и марганца. Сформировавшийся гидрохимический режим поддерживается водообменом с водохранилищем, который стимулируется спадом и подъемом эксплуатационного уровня.

В напорном водоносном горизонте, особенно на верхнем участке водохранилища, из-за существенного превышения гидростатического давления над пьезометрическим, а также в силу слабого гидравлического сопротивления перекрывающего водоупора, произошло снижение минерализации содовых вод. При этом в воде появился несвойственный ей кислород, что благоприятно сказалось на органолептических показателях: произошло полное окисление сероводорода, исчез аммонийный азот, появилась небольшая жесткость.

Сам вновь появившийся техногенный водоносный горизонт не имеет «гидрогеохимической истории», поэтому его качественное состояние определяется химическим составом поверхностных вод и результатом взаимодействия этих вод с водовмещающими породами. Помимо этих двух главных факторов, какое-то влияние на химический состав воды оказывают фронтальный перелив воды из пород коренной основы у цокольного уступа четвертой надпойменной террасы и восходящий поток через цокольную площадку третьей террасы. Однако участие этих источников в общем балансе ничтожно из-за низкого коэффициента фильтрации водоносного горизонта от бровки в сторону тыльного шва террасы, а объем восходящей фильтрации ограничивается слабопроницаемым элювиальным слоем. Инфильтрационный поток со стартовой минерализацией в 100 мг/л, пройдя по пласту от затопленной бровки террасы (контур питания) 200-600 м, увеличивает свою минерализацию до 250-300 мг/л без изменения общего химического состава.

Плотинный участок до момента сооружения имел простые гидрогеодинамические характеристики с перпендикулярным подземным течением относительно русла Ангары. Возведение противофильтрационной преграды в виде понура, земляной плотины, шпунтового коридора, цементационных завес и центральной упорной призмы развернули сетку водотока на 90°. Из-за глубоких цементационных завес, проходящих вдоль осевой линии земляной плотины и здания ГЭС, фильтрационный поток в коренных породах стал проходить по глубоко огибающей территории. Помимо вертикальных противофильтрационных преград, трехмерная сетка движения подземных вод в основании гидротехнического сооружения деформируется дренажной системой ГЭС. Фильтрация воды из верхнего бьефа в нижний происходит не только по коренным породам, но и по слою аллювиальных отложений поймы и руслового аллювия, в которые врезан до пород коренной основы шпунтовый коридор. Какая-то доля воды просачивается сквозь суглинистое ядро и другие элементы плотины (рис. 4-21).

В нижнем бьефе по днищу долины р. Ангары на расстоянии не менее 3,5 км после появления плотины ГЭС произошел повсеместный подъем пьезометрической поверхности напорного водоносного горизонта не менее, чем на 20 м. В связи с этим все скважины, пройденные в пойме, на островах и площадке первой надпойменной террасе интенсивно фонтанировали с дебитом от 1,5~32 л/с. Коэффициент фильтрации пород коренной основы варьировал в диапазоне 1,65-249 м/сут. Наибольшая изменчивость напоров, дебита фонтанирования и коэффициента фильтрации фиксируется на поперечном



Рис. 4-21. Потери фильтрации через тело плотины ГЭС (шпунтовый коридор, пройденная скважина через бетонное основание плотины)

профиле долины р. Ангары. Вблизи сопряжения поймы со склонами долины отмечаются пьезоминимумы, максимальная проницаемость и наибольший дебит фонтанирования. Образование пьезоминимумов является фактом того, что вдоль линейно вытянутых зон происходит наиболее интенсивная разгрузка напорных вод.

Восходящее перемещение существовавшей пьезометрической поверхности инициировало аналогичное движение гидрогеохимических границ. В результате на сопоставимых глубинах увеличилась минерализация, состав сместился в сторону преобладания хлоридных натриевых вод (табл. 4-17) и

Таблица 4-17

Химический состав напорных подземных вод в районе моста через р. Ангару

№ скв	рН	Компоненты состава, мг/л						Минерализация, г/л
		Na	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	
17	7,6	568	46	21	616	639	30	1,92
18	7,8	704	50	13	653	816	25	2,26
19	7,8	788	36	14	653	923	27	2,44
20	7,2	755	24	16	653	852	30	2,33
22	7,8	523	28	13	518	568	35	1,68
25	7,8	725	14	4	549	816	35	2,14
10м	7,6	585	41	18	620	607	25	1,92
17м	7,8	630	29	17	590	641	27	1,95
102с	7,6	533	27	15	541	580	30	1,79

довольно сильно возросло содержание сероводорода. Характерным примером здесь служит участок возведенного моста через р. Ангару, где по пройденным выработкам наблюдался выход сероводородных вод. На глубинах 7-12 м минерализация воды в полосе пьезоминимумов достигла 2,0-2,5 г/л, а

количество сероводорода достигло 40-80 мг/л (рис. 4-22). В местах, где слой элювия тонок, либо представлен проницаемыми грунтами, либо вовсе отсутствует, наблюдается перелив солоноватых вод в аллювиальные отложения поймы. Об этом свидетельствует озерная вода на острове Конном, в составе которой доминируют хлориды натрия.

Изменения в нижнем бьефе вне днища долины произошли под прямым воздействием обходной фильтрации, которая наиболее мощно проявилась на правобережье. Водопроницаемыми слоями, связывающими верхний и нижний бьефы, являются гравийно-галечниковые образования третьей и частично четвертой надпойменных террас слой алевролитов и пласт песчаников. Эти три этажно залегающие слоя образуют фильтрационную систему с быстро понижающейся по глубине проницаемостью. Наибольшим коэффициентом фильтрации (до 600 м/сут) обладают галечники. Водопроницаемость 10-метрового слоя алевролитов намного меньше, но все же достигает 10-12 м/сут. А для песчаников по данным Шенькмана Б.М. (2006 г.) характерна величина коэффициента фильтрации в 2-5 м/сут. Вполне понятно, что основной объем обходной фильтрации проходит через галечники и разгружается преимущественно в береговой полосе Ангары. Вниз по течению расход фильтрационного потока снижается, а минерализация воды напротив повышается от с 0,12 до 0,77 г/л. Постепенное затухание водообмена и увеличение плотности застройки сильно влияет на качественное состояние техногенного горизонта: минерализация достигает 1,5 г/л, а гидрокарбонатный кальциевый состав на приплотинном участке сменяется многокомпонентным раствором.

Небольшая по объему часть фильтрационного потока по узкому жолобообразному углублению в цокольной поверхности третьей террасы поступает в аллювиальные отложения второй надпойменной террасы. Именно этим обстоятельством объясняется существование в центре города низкотемпературной (3,5-4 °С) и минерализационной аномалий. Вне этого локального участка качественное состояние грунтовых вод к 2000 гг. радикально изменилось: снизилась минерализация до 0,3-0,8 г/л и распространенные сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатные воды почти целиком были замещены гидрокарбонатными или сульфатно-гидрокарбонатными.

Глубокое опреснение и направленное изменение химического состава грунтовых вод отложений низкого комплекса террас произошло под влиянием обходной фильтрации [96]. Этот процесс перелива из пород коренной основы можно считать положительным, благодаря чему улучшилось качественное состояние грунтовых вод. Детализируя сам процесс и имеющуюся гидрогеологическую информацию, определился характер водообмена в виде фронтального подтока вдоль цокольного уступа третьей надпойменной террасы. Таким образом объясняется практическая сохранность качественного состояния техногенного водоносного горизонта по настоящее время.

В качестве заключения можно подытожить, что изменение гидрогеохимической обстановки вследствие техногенного воздействия Иркутской ГЭС имело последствия. Образовался напорный водоносный горизонт в галечниках третьей надпойменной террасы, который рассматривается как до-



Рис. 4-22. Фонтанирующая скважина и образовавшееся озеро сероводородных вод вблизи нового моста через р. Ангару в нижнем бьефе плотины (правый берег)

полнительный альтернативный источник централизованного водоснабжения г. Иркутска. В этих же подразделениях возросла мощность грунтового горизонта и увеличился напор, что сопровождалось качественным кондиционированием вод. В нижнем бьефе исчезли зимние зажорные повышения уровней воды и связанные с ними подтопления исторической части города. Грунтовые воды приобрели новый гидрогеохимический облик: произошло глубокое их опреснение и облагораживание качественного состава. Негативные явления по настоящий момент проявились в виде подъема базового уровня сероводородных хлоридных вод на опасное расстояние к поверхности земли, которые на некоторых участках посредством самоизливающихся скважин выходят на дневную поверхность.

4.4. Пространственно-временной прогноз изменения химического состава подземных вод

Анализ выполненных исследований вполне четко показывает произошедшие масштабные и довольно интенсивные преобразования гидрогеологической ситуации в г. Иркутске с его окрестностями за истекшие 50-60 лет. При этом медленные и плавные изменения гидрогеологической обстановки сменялись быстroteкущими процессами, что приводило в конечном счете к радикальной перестройке режима подземных вод. Следствием антропогенных процессов стало значительное преобразование химического состава подземных вод четвертичных подразделений, менее сильным оказалось для юрских коренных водоносных пород. Далее в главе кратко излагаются основные тезисы, характеризующие техногенные преобразования экогидрогеохимической обстановки “Большого Иркутска”.

Иркутская городская агломерация в настоящем исследовании понимается как территория, состоящая из урбанизированного ядра и примыкающей к ней пригородной зоны общей площадью в настоящее время более 1400 км². Городские районы размещаются в днищах долин рек Ангары, Иркуты, Ушаковки и Каи, пригородный пояс тяготеет к склоновым и водораздельным участкам долин. В современных границах города особенно выделяются две крупные зоны – селитебная и промышленная (рис. 4-23), несущие основную нагрузку на подземные воды. В первой из них вычленяются несколько типов застройки: индивидуальная, многоэтажная ранняя и многоэтажная поздняя. Индивидуальный сектор застройки развит на площадках речных террас. Ранняя многоэтажная застройка в основном совмещается с историческим центром города на четвертичных отложениях террас, разместилась по большей части по индивидуальному сектору, унаследовав часть территории, а также поглощая крупные фрагменты действующей промышленной зоны. Многоэтажные новостройки размещаются преимущественно на площадках высокого комплекса террас, склонах и приводораздельных участках, т.е. в местах, слабо либо вовсе не затронутых техногенными преобразованиями. Промышленная зона тяготеет почти целиком к долинам, главным образом р. Ангары. Она непосредственно граничит с жилой зоной и зачастую глубоко проринает

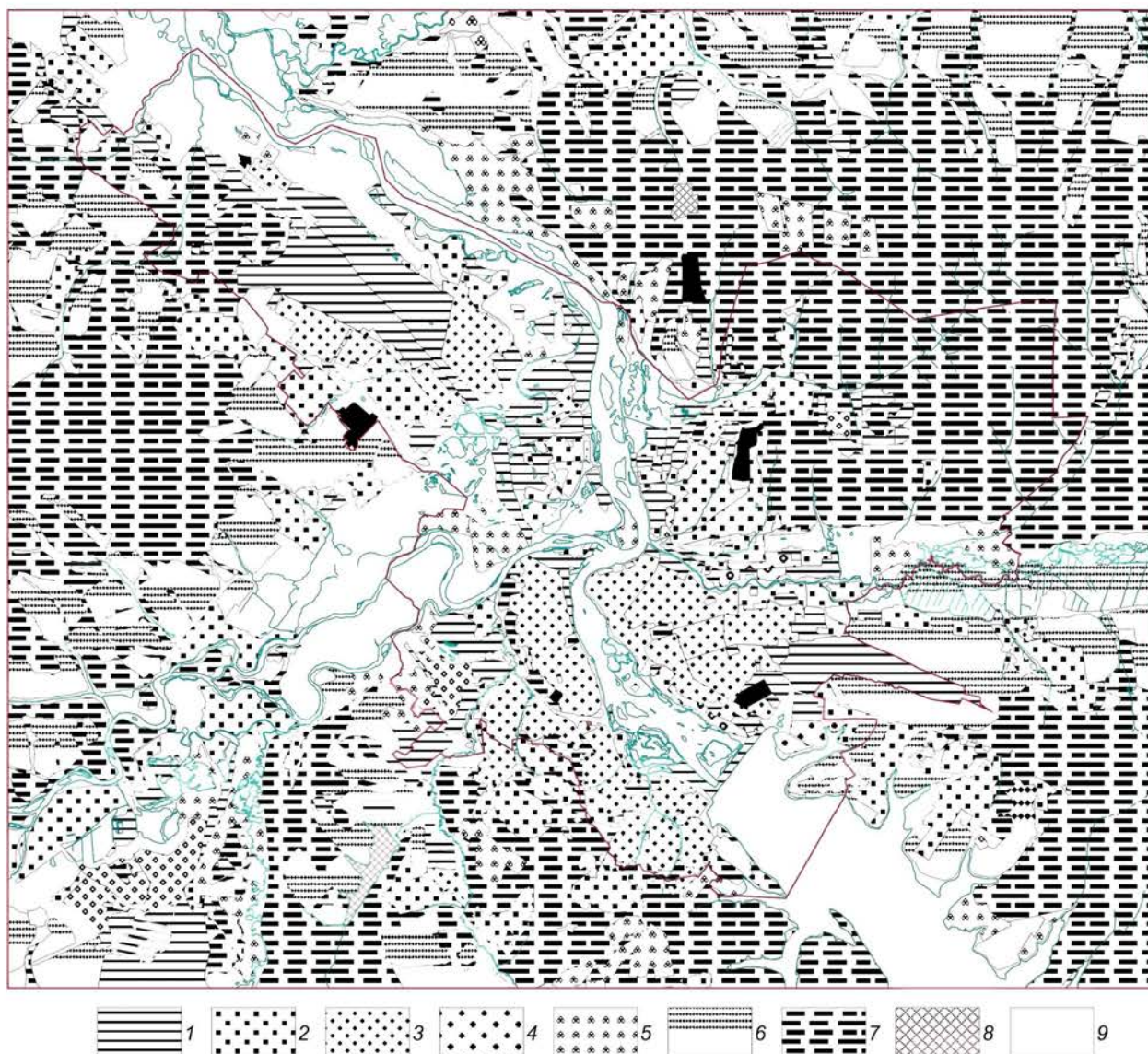


Рис. 4-23. Структурная схема урбанизированной территории г. Иркутска
 1 – промзона; 2 – частный сектор; 3 – многоэтажная застройка (ранняя); 4 – многоэтажная застройка (поздняя); 5 – садоводства; 6 – сельская зона; 7 – лесной сектор; 8 – техногенные объекты; 9 – слабоосвоенные земли

в нее, как это происходит на мысовом окончании Ангаро-Ушаковского междуречья. Примерно то же самое наблюдается и в местах новостроек, где промышленные объекты располагаются вблизи внутренних границ микрорайонов (м-р Новоленино, 2^й Иркутск).

Городскую территорию со всех сторон окаймляет пригородная зона. Ближе всего к городу размещаются садоводства, образующие своего рода "садовое кольцо", к которому примыкают пахотные земли и леса зеленой зоны. По внутренней стороне зеленой зоны расположены рекреационные объекты, главным образом рекреационные центры, детские лагеря, дома и базы отдыха, спортивные лагеря и прочие. Кроме лесных массивов, слабо освоенными остаются относительно большие участки поймы, особенно низкой, в долинах Иркуты и Ангары. Границы между зонами и внутри их довольно подвижны. Особенно быстро уменьшается индивидуальный сектор застройки. Столь же стремительно удаляется контур зеленой зоны, которая поглощается

садоводствами и массивами частных коттеджей.

Взаимопроникновение основных элементов урбанизированной территории Большого Иркутска, изложенных выше, формирует сложную систему размещения источников загрязнения подземной гидросферы. Ранее в главе 4.2 были детально охарактеризованы наиболее крупные источники техногенного воздействия, с учетом которых из антропогенного процесса особо выделяется химическое загрязнение. Спектр загрязняющих элементов весьма широк и пропорционален набору источников загрязнения. В свою очередь источники загрязнения урбанизированной территории города пространственно связаны с тем или иным геоморфологическим элементом долины р. Ангары и ее притоков, что позволяет предполагать об ослаблении техногенного воздействия на подземные воды в условном ряду "грунтовые воды аллювиальных четвертичных отложений - "подвешенные" горизонты - грунтовые воды коренной основы" [60]. Это предположение требует необходимого обоснования, для чего далее уместным видится изложить общую характеристику подземных вод четвертичных подразделений и пород коренной основы в контексте их текущего состояния и на перспективу.

Подземные воды аллювиальных четвертичных отложений в черте города образуют единый грунтовый поток в обводненных гравийно-галечниковых отложениях поймы, I, II и III надпойменных террас, который разгружается в русло Ангары, Иркута и Ушаковки. Подземные воды имеют активную гидравлическую связь с речной водой, но лишь в пределах распространения поймы и первой террасы. Две другие террасы являются цокольными относительно р. Ангары, отметки уступов которых определяются выше уреза воды в реке. Водоносный горизонт в течение длительного исторического времени находится под сильным антропогенным воздействием. Учитывая развитую здесь застройку (рис. 4-23), в период отсутствия и слабого развития централизованного водоснабжения он интенсивно эксплуатировался, а в секторе индивидуальной застройки используется и поныне, главным образом в хозяйственной сфере. Постепенно горизонт подвергался загрязнению, и как следствие, в конце пятидесятых годов минерализация воды в центре города достигла величины более 2 г/л (табл. 4-18), которая превышает фоновую почти на порядок. Отмечалось, что химический состав воды из трехкомпонентного ($\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$) стал многокомпонентным [96]. В анионной группе состава заметное место заняли хлориды, сульфаты и нитраты, которые суммарно превысили концентрацию гидрокарбонатов. В катионной группе состава первое место занял натрий, при этом отношение $r\text{Cl}/r\text{Na}$ близко к единице. Предполагалось, что в центре Иркутска в те годы одним из основных источников загрязнения являлась зимняя посыпка улиц солью. В городских районах, где такие зимние меры не практиковались (Новоленино, предместье Рабочее) Cl/Na коэффициент равнялся 2~5. Своим высоким содержанием хлоридов подземные воды обязаны именно зимней засолке улиц. В настоящее время соль вновь активно используется для очистки улиц от снега и льда, чаще комбинируется с поливкой соляным раствором. Такой мощный источник загрязнения сказывается в увеличении темпа роста концентраций хлор-

Таблица 4-18

Уровень загрязнения грунтовых вод аллювиальных четвертичных отложений в границах разного типа застройки (1950-60 гг.)

Характер застройки	Район города	Водо-пункт	Возраст отложений	Глубина до подзем-ных вод, м	M _{общ} , г/л	Характерный компонент состава, мг/л		
						Cl	SO ₄	NO ₃
Индивидуальная	Новоленино	Колодец	Q _{II-III}	8	0,85	130	72	60
		Скв.		12	1,3	242	532	10
		Скв.		11	1,25	93	135	65
	Пос. Горько-го	Колодец	Q _{IV}	1,6	0,73	62	72	0
		Скв.		2,8	1,87	28	140	24
		Скв.		1,8	1,42	140	68	79
	Мельниково	Колодец	Q _{IV}	2,95	0,71	105	80	48
		Колодец		2,8	0,79	205	120	51
		Скв.		3,5	1,06	73	390	0
	Предмestье Рабочее	Колодец	Q _{III-IV}	2,42	0,62	57	75	104
		Скв.		5,79	1,25	160	218	340
		Скв.		4,75	2,05	95	403	12
Ранняя много-этажная	Центр Иркутска	Скв.	Q _{III-IV}	2,1	2,18	351	265	-
		Скв.		5,09	1,63	265	423	-
		Скв.		2,5	2,05	307	221	2
		Колодец		1,9	1,65	209	387	45
		Колодец		2,15	0,6	50	69	57
		Скв.		2,3	0,8	112	71	89

иона в подземных водах центральной части Иркутска, а также в других районах города. Структура загрязнения грунтовых вод и уровень в индивидуальном секторе застройки не претерпевают значимых изменений. Величина минерализации, набор поллютантов, их концентрация мало зависят от глубины залегания грунтовых вод и строения зоны аэрации. Предполагается, что основное влияние оказывает плотность застройки, отсутствие канализации и приусадебная обработка земли. В этих условиях интенсивность загрязнения водоносного горизонта соизмерима с тем, что наблюдается в промышленно-урбанизированном ядре города.

Эколого-гидрогеологическая обстановка существенно менялась после сооружения водохранилища Иркутской ГЭС, в результате чего в правобережном примыкании плотины возникла активная обходная фильтрация. Основная часть этого фильтрационного потока разгружается в р. Ангару в непосредственной близости от плотины, где на отрезке берега в ~1,5 км отмечаются все субаэральные очаги разгрузки. Подобные изменения фильтрационного потока привели к глубокому опреснению подземных вод почти до уровня минерализации воды р. Ангары (табл. 4-19). В воде практически исчезли

Таблица 4-19

Минерализация и химический состав подземных вод аллювиальных четвертичных отложений в зоне обходной фильтрации (берег р. Ангары)

Водопункт	Расстояние от плотины, км	Дата опробования	М _{общ} , г/л	Характерный компонент состава подземных вод, мг/л				
				Cl	SO ₄	NO ₃	NH ₄	HPO ₄
Скважина	0,3	12.5.2005	0,2	11,3	6	-	-	-
Родник	0,7	29.09.2010	0,165	4	9	-	-	0,02
Скважина	0,75	06.05.2009	0,48	12	30	13	-	H/O
Скважина	0,9	10.11.2010	0,62	13	51	-	-	-
Родник	1,5	29.09.2010	0,225	13	5	20	1,5	0,25
Скважина	2	28.12.2007	0,6	23	37	21	-	H/O
Родник	2,75	29.09.2010	0,96	46	74	82	-	0,15
Родник	3,25	29.09.2010	1,03	49	104	68	-	0,018
Родник	3,5	29.09.2010	0,98	40	95	68	-	0,27
Родник	4,2	17.10.2008	1,79	89	370	-	-	H/O

сульфаты и хлориды, фиксировавшиеся ранее в пробах воды ранее. На исходное загрязнение грунтовых вод указывает лишь очень высокая относительно естественного фона концентрация фосфора, представленного в основном полифосфатами, и присутствие нитратов в большом количестве. Опробование недавнего времени полностью подтверждает тезис о разгрузке потока подземных вод в прибрежной зоне, особенным маркером чего являются родники в правобережье ниже от плотины ГЭС. Несмотря на осуществленную плотную застройку этой части территории города за последние 20 лет и освоение почти всего пустующего ранее пространства, вода естественных выходов не меняет своего качества и не содержит характерных поллютантов. Вполне можно для подземных вод участка обходной фильтрации прогнозировать сохранение текущего гидрогеологического процесса без изменений в качественном отношении.

Ниже в потоке подземных вод постепенно нарастает минерализация, в воде в заметных количествах появляются хлориды и сульфаты. Вода имеет сильное загрязнение нитратами и полифосфатами. На расстоянии до 2 км от оси плотины минерализация воды в прибрежной зоне не превышает концентрацию в 1 г/л. Береговая полоса контрастно отличается от остальной части мысового потока, где опресняющее влияние обходной фильтрации выражено не столь ярко. На мысовом окончании Ангаро-Ушаковского междуречья вообще не произошло видимых изменений в улучшении качественного состояния подземных вод даже к настоящему времени. Положительная динамика по имеющимся результатам химических анализов проб воды не наблюдается, а следовательно, прогноз на будущий период времени будет иметь отрицательный статус в отношении практически всего ряда компонентов - загрязнителей. Здесь нужно также отметить, что образование водохранилища привело

к существенному преобразованию гидрологического режима р. Ангары. Появилась уровенная зарегулированность, целиком зависящая от режима работы ГЭС, произошло уменьшение среднегодовой амплитуды колебания уровня до 1,9 м. Снижение подъема уровня над нулем графика вызвало общее понижение зеркала грунтовых вод на пойме и первой надпойменной террасе более чем на 1 м, что повлекло за собой сокращение ширины и мощности зоны подпора грунтовых вод. Уменьшился объем поверхностных вод, участвующих в водообменном цикле с грунтовыми водами, а это повлияло на рост их минерализации. В дальнейшем основные изменения минерализации воды и трансформация ее химического состава связаны, главным образом, с развитием селитебной и промышленной зон, что имеет вполне четко выраженное продолжение в настоящий момент и прогнозируется в будущем времени.

Уменьшение водообмена в системе "поверхностные - подземные воды" не повлияло на объем общего выноса загрязняющих веществ с подземным стоком. С понижением разбавляющего эффекта произошло лишь повышение концентрации загрязнителей. Для плохо растворимых веществ это привело к изменению форм миграции [95]. Характерным примером здесь является случай с нефтепродуктами по нескольким техногенным объектам в границах города, где наряду с растворенной и эмульгированной формами весомую долю составляет свободная фаза. Подобного рода многолетний устойчивый вынос нефтепродуктов наблюдается с территории Жилкинской нефтебазы (глава 4.2), площадки Иркутского хлебозавода с ее подземной емкостью горячего мазута, цехов и складов некоторых предприятий в черте города, автозаправочных станций. Расположенные в потоке выноса таких нефтезагрязнений скважины, колодцы, в некоторых местах центральной части города подвалы жилых домов имеют явные следы нефтепродуктов, а особенно ярко и в значительных количествах присутствие нефтепродуктов проявляется в годы высокой водности.

Гидрогеохимическая ситуация в пределах промышленно-урбанизированного ядра города изменилась и в последние годы имеет прослеженную тенденцию к росту показателей минерализации, температуры и состава воды, а также возникновению контрастных аномалий на фоне сравнительно монотонного изменения показателей при наблюдениях за химическим составом от года к году. Техногенное воздействие на грунтовые воды оказывают в основном водонесущие и канализационные магистрали, утечки из которых носят локальный характер. Как правило, эти участки пространственно совмещаются с куполообразными повышениями уровня подземных вод. Наблюдения показывают, что происходит медленное направленное ухудшение эколого-гидрогеологической обстановки, особенно на пойме и первой надпойменной террасе.

Подземные воды юрских отложений зоны аэрации в контексте загрязнения "подвешенных" водоносных горизонтов изучены детально при обследовании родников в 2008-2010 гг, что представляется наиболее объективным и эффективным в существующих природных условиях. Учитывая, что техногенное воздействие на зону аэрации коренной основы осуществляется

преимущественно при инфильтрации атмосферных осадков, то происходящий процесс будет иметь преимущественно промывной характер. Утечки из водонесущих коммуникаций здесь имеют второстепенное значение, поскольку они развиты в районах новых многоэтажных застроек. Уровень и структура процесса загрязнения во многом зависят от типа объектов, при этом наибольшая степень загрязнения подземных вод прослеживается в районах индивидуальной застройки. Это наиболее старые части города, бывшие предместья, участки без реализованной центральной канализации и водоотведения. Антропогенное влияние выразилось в изменении состава вод и минерализации в целом – последняя до пяти раз становится выше фоновой. В воде присутствуют хлориды, сульфаты и нитраты, которые вне области активного антропогенного воздействия обладают очень низкой концентрацией (табл. 4-20). Два первых загрязнителя по содержанию приближаются к 0,2-0,3 ПДК, а количество нитратного азота зачастую превышает предельно допустимую концентрацию. Особенно сильно загрязнены "подвешенные" горизонты в предместьях Радищева и Кузьмича, где по оценкам предыдущих исследований (Шенькман Б.М., 1993 г.) на момент опробования фиксировалось близкое по своему уровню загрязнение в водопунктах. Набор веществ преимущественно азотной группы свидетельствует об основном источнике загрязнения, которым несомненно являются выгребные ямы и приусадебные участки. На это также указывает высокое содержание в воде фосфора, представленного в основном полифосфатами. В районах многоэтажных новостроек "подвешенные" горизонты находятся в начальной стадии загрязнения. В наибольшей степени увеличилась лишь минерализация воды, коим примером является район застройки Топкинский или Первомайский. Компоненты загрязнения в базовом виде зачастую присутствуют на уровне фоновых содержаний, причем фосфор представлен целиком ортофосфатами.

Подземные воды зоны аэрации имеют заметный прессинг со стороны многочисленных садоводств, где обработка земли, в том числе химическими удобрениями, проводится особенно интенсивно. Соответственно, при выпадении осадков вынос таких веществ из верхнего деятельного слоя происходит активней и стимулируется вдобавок обильным поливом. Все это приводит к повышению минерализации воды и появлению в ее составе заметного количества хлоридов и сульфатов. В границах садоводческих кооперативов главным компонентом загрязнения становится нитратный азот, концентрация которого по опробованным площадкам зачастую превышает ПДК (Глазково, Марата, Рабочее). Вновь созданные товарищества и кооперативы на участках, где ранее был нетронутый лесной массив, через 3-5 лет после сведения леса и освоения становятся территорией с большим содержанием нитратов в подземных водах. Выполняемые наблюдения здесь показывают медленный, но неуклонный рост концентраций фосфора в форме ортофосфатов, а также калия, хотя его изначальное содержание близко к фоновому. Нагрузка на территорию в виде садоводств и жилых поселков с земельными наделами с появлением новых и расширением существующих привело к увеличению пятен активного загрязнения. Поллютанты фиксируются, к примеру, в границах

Таблица 4-20

Уровень загрязнения "подвешенных" водоносных горизонтов юрских отложений зоны аэрации

Характер территории	Район/ местоположе- ние	Дата опробо- вания	М _{общ} , г/л	Компонент состава, мг/л			
				Cl	SO ₄	NO ₃	HPO ₄
Индивидуальная за- стройка	Мельниково	18.7.08	0,47	33,2	28,1	24	0,31
	Новоленино	10.9.18	0,39	10,3	29,1	65,7	0,32
	Кузьмиха	19.6.19	0,5	55,2	33,1	63,9	0,11
	Радищево	20.10.18	0,79	161	68	75	0,2
Многоэтажная за- стройка	Юбилейный	7.10.19	0,53	76,4	28	22	0,24
	Солнечный	24.8.16	0,39	24,2	9,4	0	0,03
	Новоленино	1.9.18	0,55	1153	67	7	0,12
Садоводческие объ- единения	Кайская гора	3.6.19	0,3	29,1	20	59	0,33
	Ершовский	27.8.18	0,4	26,3	19	69	0,29
	Радищево	10.9.16	0,67	34,2	18	58	0,2
Сельскохозяйствен- ные образования	Дзержинск	21.6.16	0,34	11,2	8,2	33,2	0,03
	Грязнуха	18.6.13	0,31	6,18	10	22	0,08
	Новоразводная	20.8.16	0,42	5,1	11	31	0,11
	Молодёжный	20.8.16	0,56	3,6	14	22	0,16
Техногенный объект (свалка ТБО)	Малая Топка	10.05.06	3,11	1601	361	121	Н/О
	(Алекс. тракт)	6.10.18	5,35	3441	2117	355	Н/О
Промышленная за- стройка	Кая (Синю- шина гора)	11.7.08	0,94	140	89	26	0,31
		21.9.16	0,85	151	110	49	0,19

источников водоснабжения по массиву междуречья Ушаковки-Топки, эксплуатирующих в том числе ресурсы подземных вод юрских отложениях зоны аэрации. По нескольким скважинам здесь содержание нитратов в 2008 г. превышало ПДК в 2-3 раза, а на момент опробования в 2016 г. концентрация увеличилась и превышение уже достигло 4-5 ПДК по элементу.

Загрязнение подземных вод, связанное с сельскохозяйственными наделами в черте города и ближайших пригородах, а также с тепличными хозяйствами, практически не отличается по своему характеру от территории садоводств. Основным поллютантом здесь остается нитратный азот, концентрация же базовых элементов загрязнения ощутимо ниже. Это происходит из-за отсутствия выгребных ям и септиков открытого типа, фильтрация из которых накладывается на создаваемый агрогенный фон. Уровень загрязнения снижается на территории пахотных земель в пригородной зоне, а также ниже в местах частного сектора вблизи многоэтажной застройки. По такой территории отмечается повышенная минерализация воды, ряд базовых компонентов загрязнения с маркерами Cl, SO₄ лишь незначительно превышает фоновые содержания, ортофосфаты и нитратный азот при относительно невысокой концентрации повсеместно присутствует в воде.

Отдельно выделим в качестве яркого примера городскую свалку твердых бытовых отходов, являющуюся особо сильным источником техногенной нагрузки для подземных вод зоны аэрации юрских отложений. Такой мощный источник локального загрязнения размещается на водораздельном участке коренных пород, где мощность зоны аэрации достигает порядка 110-120 м (рис. 4-24). Песчаники с прослоями туфоалевролитов в 10-24 м слагают здесь единый массив, в котором происходит накопление инфильтрационной

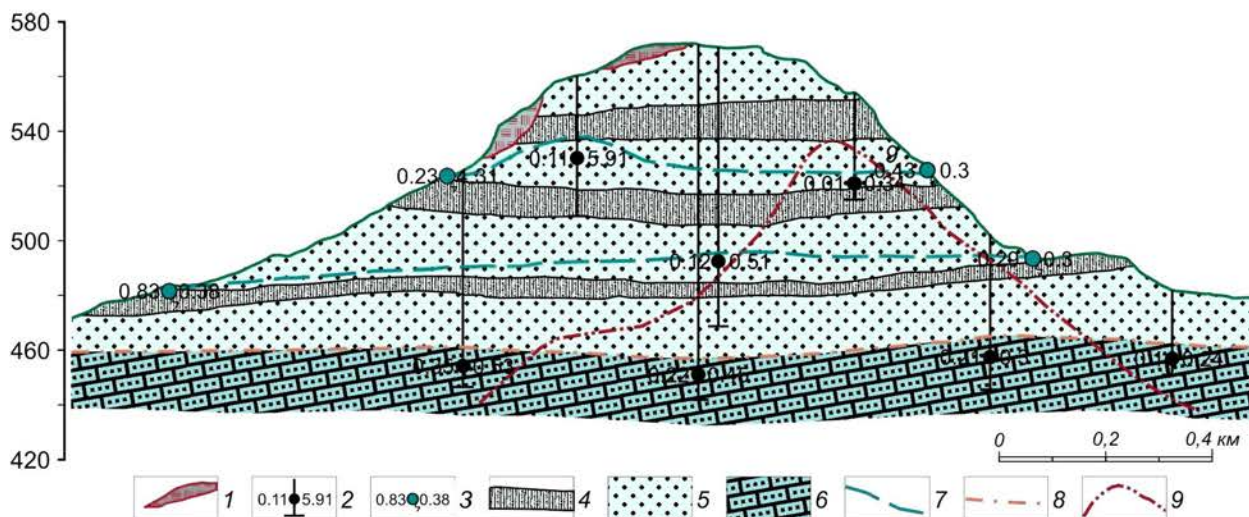


Рис. 4-24. Схематический гидрогеологический разрез свалки твердых бытовых отходов по Александровскому тракту

1 - твердые отходы; 2 - скважина, слева - удельный дебит (л/с), справа - минерализация воды (г/л); 3 - родник, слева - дебит (л/с), справа - минерализация (г/л); 4 - прослои туфоалевролитов/аргиллитов; 5 - зона аэрации; 6 - песчаники; 7 - уровень воды "подвешенных" горизонтов; 8 - уровень грунтовых вод; 9 - нижняя граница распространения компонентов загрязнения

влаги с образованием двух-трех "подвешенных" водоносных горизонтов. Обводненность их невелика: обычно мощность при бурении скважин фиксируется от 2 до 8-10 м, а удельные дебиты скважин не превышают сотых долей л/с. Водообильность "подвешенных" водоносных горизонтов низкая, что подтверждается опробованием родников, мочажин, высачиваний, дебит которых едва достигает 0,6-0,85 л/с. В естественных ненарушенных условиях вода гидрокарбонатная с минерализацией в пределах 0,15-0,25 г/л, но такую гидрогеологическую обстановку в корне меняет складирование твердых бытовых отходов на достаточно большой площади.

С появлением техногенного источника непосредственно под самой свалкой увеличивается мощность "подвешенного" горизонта и преобразовывается химический состава подземных вод. Сформировавшийся здесь раствор по величине минерализации в 25-31 г/л приближается к слабым рассолам, имеет хлоридный натриевый состав с отношением rCl/rNa в 1 и обладает высокой концентрацией нитратов до 395-475 мг/л (табл. 4-21). Существующий процесс нисходящей фильтрации и перетекания с линзы на линзу вод уменьшает огромную минерализацию, и уже на уровне второго горизонта макси-

Таблица 4-21

Состав подземных вод в районе свалки ТБО (Александровский тракт)

Водоносный горизонт	Водопункт	Расстояние от свалки, км	Дата опробования	Минерализация, г/л	Компоненты состава, мг/л		
					Cl	SO ₄	NO ₃
Подвешенный 1	Родник	0,15	1988	32	15,4	1,18	450
Подвешенный 2	Скважина	0,25	1988/2010	9,28/11,7	5,36/11,2	242/286,1	350/374,1
	Скважина	0	1988/2010	5,04/6,15	2,94/1473	187/203,5	65/225,1
	Родник	0,65	1988/2005	0,23/0,26	43,6/55,6	27/34,18	3/5
Подвешенный 3	Родник	0,95	1988/2010	0,24/0,31	23/53,1	61/64,15	50/19,5
	Родник	1	1988/2010	0,42/0,45	100/87,15	20/22,58	0/1
Грунтовый	Скважина	0,2	1989/2008	0,58/0,67	82,6/239	4/12,24	3/19,5
	Родник	0,9	1989/2010	0,35/0,37	38/53,1	9/11,75	5/8,45
	Родник	1,12	1989/2010	0,18/0,28	15/20,85	20/18,3	1/4,2

мальная соленость воды фиксируется в 8,4-9,3 г/л. Прослеживается своеобразная вертикальная зональность. Опробование скважин, существовавших на территории свалки на момент 90^x г. показало, что минерализация воды на третьем водоупоре лишь в 2-3 раза превышает фоновую. Эти данные подтвердились осуществлёнными работами в 2000-2010 гг. и позднее. Параллельно с разбавлением сточных вод подземными на глубине происходит смена химического состава. С глубиной гCl/гNa-коэффициент быстро увеличивается и при солёности воды в 5 г/л он равен 25 г/л, т.е. основная масса хлора связана уже с кальцием. Наряду с вертикальной зональностью четко прослеживается и горизонтальная изменчивость подземных вод. Наибольшая минерализация вод на всех горизонтах отмечается непосредственно под свалкой, и в удалении от центра свалки постепенно падает. На расстоянии в 1-1,5 км значение минерализации приближается уже к фоновому уровню, где происходит восстановление исходного химического состава подземных вод.

Пример интенсивного локального источника загрязнения в виде свалки ТБО позволяет выделить способность юрских угленосных отложений к активному ионообменному процессу с подземными водами. Отложения туфоалевролитов в значительной мере состоят из цеолитов, обладают существенной сорбционной и обменной емкостью, что наглядно подтверждается на примере минерализации воды, претерпевшей ионообменную метаморфизацию. Эта особенность объясняет крайне низкую насыщенность подземных вод микрокомпонентами (Cu, Zn, Pb, As, Mo, Hg, Mn и др.). Инфильтрационные воды содержат концентрацию металлов намного ниже ПДК, а на уровне второго и третьего "подвешенных" горизонтов перечисленные элементы равняются с фоновыми значениями. В местах частного сектора застройки при

опробовании скважин подобное явление прослеживается повсеместно: в воде из определяемой группы элементов находят стронций, марганец, цинк с содержанием намного ниже ПДК, эпизодически присутствует хром в незначительных количествах в 2-3 мкг/л. Остальные элементы присутствуют в минимальных концентрациях, зачастую меньше предела обнаружения используемого для анализа прибора. Подобная ситуация свойственна в целом для подземных вод зоны аэрации вне зависимости от характера источника загрязнения.

Важно отметить также сезонный характер восполнения ресурсов подземных вод юрских отложений зоны аэрации и связанную с этим внутригодовую динамику содержаний загрязняющих веществ. На рис. 4-25 ниже приведен график изменения содержания нитрат-иона и температуры воды по роднику, расположенному внутри сектора индивидуальной застройки (Марата). Условия "промывного" режима зоны аэрации и поверхностное располо-

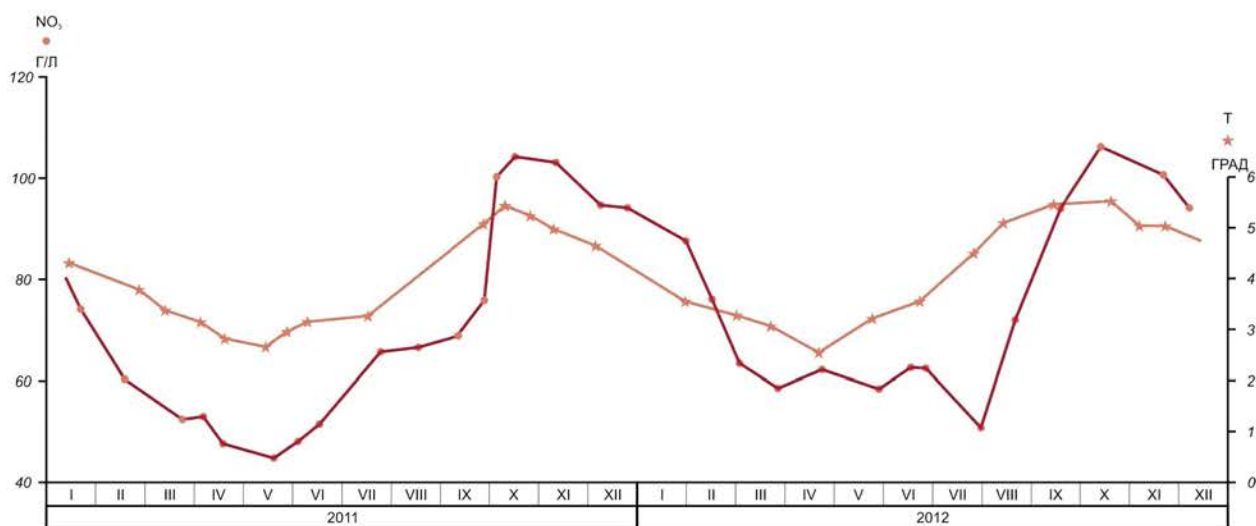


Рис. 4-25. Содержание нитратов в воде и температуры по роднику "подвешенного" горизонта

жение источника загрязнения отражаются на графике, где в упорядоченном цикле наблюдений видно, что динамика поступления загрязнений жестко связана с основной фазой питания подземных вод в летний и осенний период увлажнения. Мощность зоны аэрации в области питания водопункта не превышает 18-21 м, что повлияло на амплитуду колебаний температуры воды и концентрации загрязнителей нитрат-иона, хлоридов и сульфатов. По графику в годовом цикле содержание нитратов изменяется в три раза, достигая своего максимума к моменту перехода подземных вод на независимый режим питания. Конфигурация графика свидетельствует также о том, что привнос загрязнений в зону аэрации происходит преимущественно из верхнего современного деятельного слоя.

Выполненные исследования и накопленный материал за последние 20-30 лет позволяет резюмировать, что в зоне аэрации юрских отложений гидрогеохимическая обстановка изменяется крайне медленно. Связано это с высоким потенциалом самоочищения пород и общей хорошей защищенностью.

Наблюдения за подземными водами зоны аэрации свидетельствуют об экстенсивном распространении техногенного загрязнения.

Грунтовый водоносный горизонт юрских отложений (зона насыщения) был исследован почти исключительно по результатам опробования водозаборных скважин, что отличает его от подвешенных водоносных горизонтов с их обилием доступных естественных выходов подземных вод. Интервал вскрытия таких вод гораздо ниже, чем подразделений зоны аэрации. Общий уровень загрязнения грунтовых вод юрских отложений ниже, чем четвертичных аллювиальных отложений и вод "подвешенных" водоносных горизонтов юры. Анализ имеющихся материалов показывает слабую корреляцию глубины залегания подземных вод с интенсивностью их химического загрязнения. Степень техногенного воздействия здесь прямо зависит от типа и мощности источника загрязнения и защитных свойств зоны аэрации. В последнем случае главную роль играют туфоалевролитовые прослои с учетом их количества в разрезе и характера размещения по площади [88]. Действенность обозначенной составляющей процесса подтверждается исследованием спустя более 30 лет, и с учетом продолжающегося техногенного прессинга территории города загрязнение прослеживается в меньшей степени или отсутствует полностью по характерным базовым поллютантам.

Грунтовые воды юрских отложений содержат значительное количество загрязняющих веществ в зоне индивидуальной и промышленной застройки (табл. 4-22). В районах Марата, Радищево, Рабочее, Новоленино и Сергиев Посад подземные воды юрских отложений активно используются в качестве питьевых, поэтому густота опробованных водопунктов в таких местах позволяет достоверно оценить эколого-гидрогеологическую ситуацию. Техногенное воздействие здесь почти не отразилось на минерализации воды и лишь незначительно изменило ее химический состав за счет появления хлоридов и сульфатов. Характерные спутники загрязнения вод в виде нитратов и фосфатов здесь содержатся в достаточно большом количестве, зачастую приближаясь к 0,5-1,5 ПДК. Целостно в пригородной зоне и местах с частично застроенной территорией грунтовые воды юры весьма близки к своему естественному состоянию, лишь на локальных городских участках под воздействием мощного источника загрязнения имеют превышающую ПДК концентрацию нитратов и сульфатов. В тех местах, где зона аэрации обладает большой мощностью и связанным с этим напрямую высоким защитным потенциалом, источники сильного техногенного воздействия не оказывают сколько-нибудь заметного влияния на зону насыщения.

Попадая в грунтовый поток юрских отложений, загрязняющие вещества в силу продольной и поперечной дисперсии быстро уменьшают свою концентрацию, особенно с учетом значительного распространения в разрезе пород туфоалевролитовых образований. Характерным примером вышеизложенного служит участок сливного отстойника в Академгородке (рис. 4-26), где при опробовании нескольких скважин вокруг фиксировалось большое содержание нитрит-иона, максимальная концентрация которого намного превышала 6-7,5 мг/л. Данный точечный источник загрязнения с его низкой

Таблица 4-22

Уровень загрязнения грунтовых вод юрских отложений (зоны насыщения)

Характер территории	Район/местоположение	Дата опробования	М _{ОВЩ} , г/л	Компонент состава, мг/л			
				Cl	SO ₄	NO ₃	HPO ₄
Индивидуальная застройка	Радищево	11.3.18	0,46	32,1	11,2	22,8	0,03
	Рабочее	21.6.14	0,43	31	34,4	23,9	0,01
	Марата	17.4.18	0,49	35,1	28,1	21,9	0,02
	Новоленино	10.6.18	0,4	17,6	16,8	16,9	0,15
	Академгородок	30.5.10	0,61	19,2	10,9	31,2	0,06
	Сергиев Посад	20.9.19	0,59	32,1	25,6	40,9	0,2
Промышленная	Нов.-Ирк. ТЭЦ	15.7.14	0,44	9,2	106	5,5	0,02
	Нов.-Ирк. ТЭЦ	26.5.10	0,43	14,8	140	3,6	0,09
	Нов.-Ирк. ТЭЦ	12.9.10	0,5	24,8	17,1	3	0,05
	Новоленино	20.11.18	0,57	18,6	40,7	9,6	0,17
	Новоленино	10.4.15	0,5	30,1	19,3	1,9	0,025
Сельскохозяйственные образования	Новоразводная	17.8.12	0,59	9,1	6,2	1,4	0,01
	Новоразводная	17.8.12	0,51	10,3	6,9	1,6	0,01
	Дзержинск	3.6.18	0,49	34,1	15,9	53,3	0,06
	Парфеновка	23.8.09	0,45	27,4	15,9	1,6	0,01
	Марково	19.10.18	0,5	10,1	70,9	8,3	0,02
	Марково	8.5.16	0,59	9,2	30,8	3,4	0,01

интенсивностью достиг зоны насыщения по вертикали в 45-55 м, а поллютанты распространились вплоть до подошвы водоносного горизонта. По потоку загрязнение мигрировало на 230-270 м, после чего все ингредиенты загрязнения достигли содержаний, свойственных фоновому уровню. Последовательное опробование скважин ниже по уклону уже не обнаруживало следов вышерасположенного источника.

Промышленная зона имеет свой уровень загрязнения. Отдельно выделяется ее часть, связанная с большим объемом водопотребления, где техногенное воздействие от имеющихся объектов приводит к формированию полноценных техногенных водоносных горизонтов. Одним из примеров такого влияния является золоотвал Ново-Иркутской ТЭЦ, детально рассмотренный в гл. 4.2. Тело золоотвала заполнено жидкой отработанной пульпой, которая фильтруется напрямую в зону аэрации, а вследствие этого процесса поверх грунтовых вод в естественном залегании образуется уже купол безнапорных вод техногенного происхождения. Образовавшиеся техногенные воды существенно отличаются от природных вод прежде всего по своему химическому составу: вода содержит высокие концентрации не свойственных грунтовым водам сульфатов и карбонатов, присутствуют фтор и стронций в больших количествах, а содержания других растворенных веществ на порядок превышают их фоновое содержание. Установлено было, что в гидравлическом от-

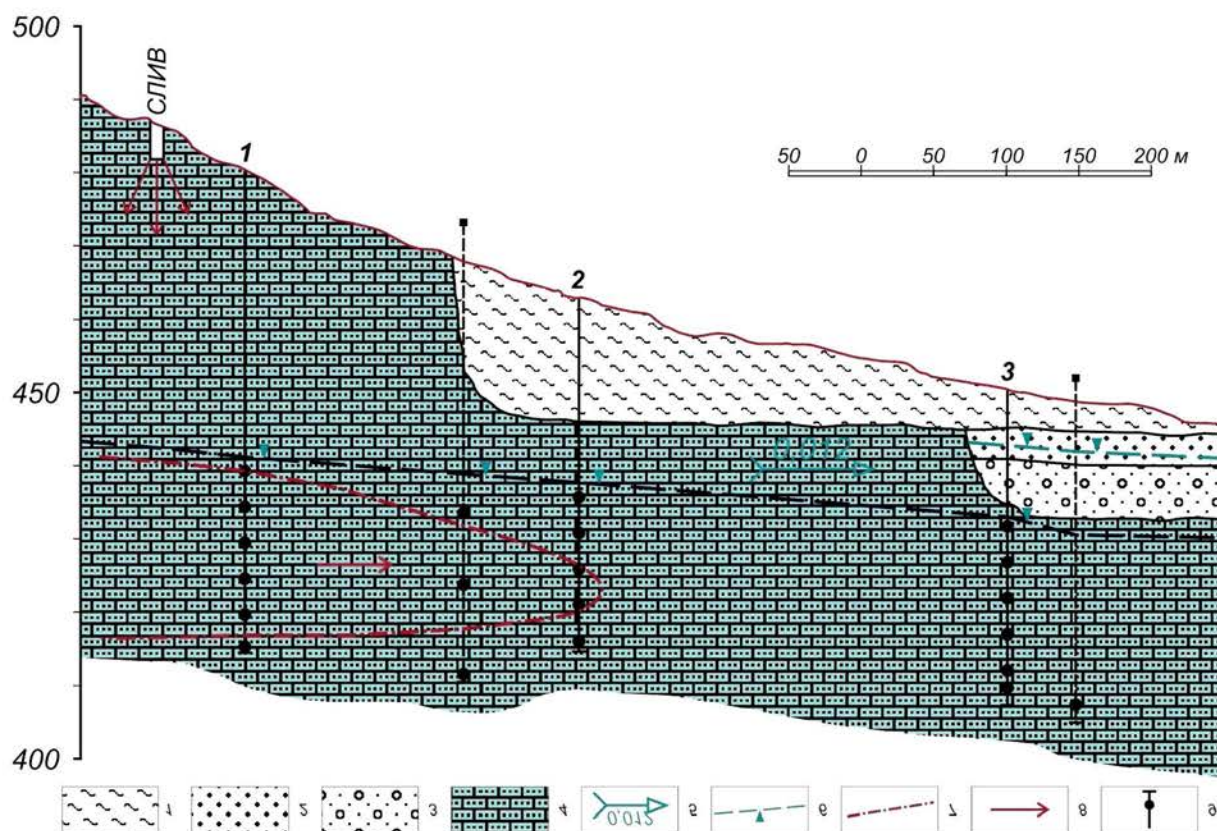


Рис. 4-26. Распространение точечного загрязнения в потоке подземных вод (на примере сливной ямы ИИХ СО РАН)

1- суглинок; 2- песок; 3- гравийно-галечниковые отложения; 4- песчаники; 5- направление движения и уклон грунтового потока; 6- зеркало грунтовых вод; 7- граница распространения загрязнения; 8- направление движения загрязняющих веществ в зоне насыщения; 9- скважины

ношении техногенный водоносный горизонт под золоотвалом и в области обходной фильтрации дамбы не обладает автономностью, слился с грунтовыми водами юрских отложений и радикально переформировал их макро- и микро компонентный состав. На участке воздействия золоотвала гидрокарбонатные воды приобрели гидрокарбонатно-сульфатный облик, в них резко возросла концентрация фтора и стронция.

В целом территория города под промышленными объектами подвержена наиболее сильному техногенному воздействию, где контрастно проявилось и продолжается ухудшение качества подземных вод за счет химического загрязнения. Установленные границы загрязнения подземных вод совмещаются с городской и с пригородной территорией, при этом проникновение загрязняющих веществ на глубину с грунтовыми водами ограничено высоким защитным потенциалом зоны аэрации. Общий вектор изменений эколого-гидрогеологической обстановки здесь направлен на медленное ухудшение и имеет чаще экстенсивный характер (судя по разным исследованным техногенным объектам в границах города и пригородах).

ГЛАВА 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ВОДОСНАБЖЕНИЯ

5.1. Состояние и перспективы использования подземных вод

Современное централизованное хозяйственно-питьевое водоснабжение Иркутской агломерации полностью базируется на поверхностных водах. В количественном отношении источник поверхностных вод нелимитирован, но качество воды, начиная с 70^х г., постепенно ухудшается. На ухудшение качественной составляющей питьевой воды свидетельствуют все чаще повторяющиеся периоды гипохлорирования во время снеготаяния и дождей. В последнее время водоподготовка хлорированием производится и в холодный сезон года. По данным ЦГСЭН г. Иркутска, взятые пробы воды из водопроводной сети до 9-11% случаев не соответствуют нормам по микробиологическим и санитарно-химическим показателям. Основными причинами загрязнения источника хозяйственно-питьевого водоснабжения городской агломерации - Иркутского водохранилища - в пределах изучаемой территории является строительство микрорайонов на его берегу и садоводческих, дачных и коттеджных кооперативов вдоль Байкальского тракта.

Усиление антропогенной нагрузки в пределах Иркутска и его окрестностей, особая уязвимость поверхностных вод, используемых для централизованного водоснабжения, привели к поиску альтернативного источника. К нему изначально предъявлялись несколько базовых требований. Прежде всего, этот источник в количественном отношении должен покрывать текущие и перспективные потребности городской агломерации, размещаться на минимально возможном расстоянии от города, обладать высоким качеством воды, желательно исключающим водоподготовку. Необходимо также, чтобы сам водоисточник был надежно защищен от загрязнения, а выполнение перечисленных условий не должно привести к чрезмерному удорожанию воды. Удовлетворить перечисленные условия может только подземный источник. Наиболее значительные ресурсы пресных вод, представляющие интерес для крупного города как водопотребителя, связаны с четвертичными отложениями и породами юрского возраста. Вблизи Иркутска эти отложения развиты в долинах рек Ангары, Иркуты, Олхи и Ушаковки, где ранее были обнаружены несколько месторождений пресных подземных вод промышленного типа, пригодные для использования в централизованном водоснабжении города (рис. 5-1).

Поисковые работы на подземные источники резервного и альтернативного централизованного водоснабжения для г. Иркутска были начаты в 1961 г. при реализации гидрогеологической съемки территории «Большого Иркутска» и прилегающей к ней районов. Поисково-съемочные работы проводились в рамках масштаба 1:50000, в процессе выполнения съемки были обнаружены два перспективных под разведку участка – Ушаковский и Иркутский. Впоследствии они были разведаны, а эксплуатационные запасы утверждены в Государственной комиссии по запасам СССР (ГКЗ) и приняты на

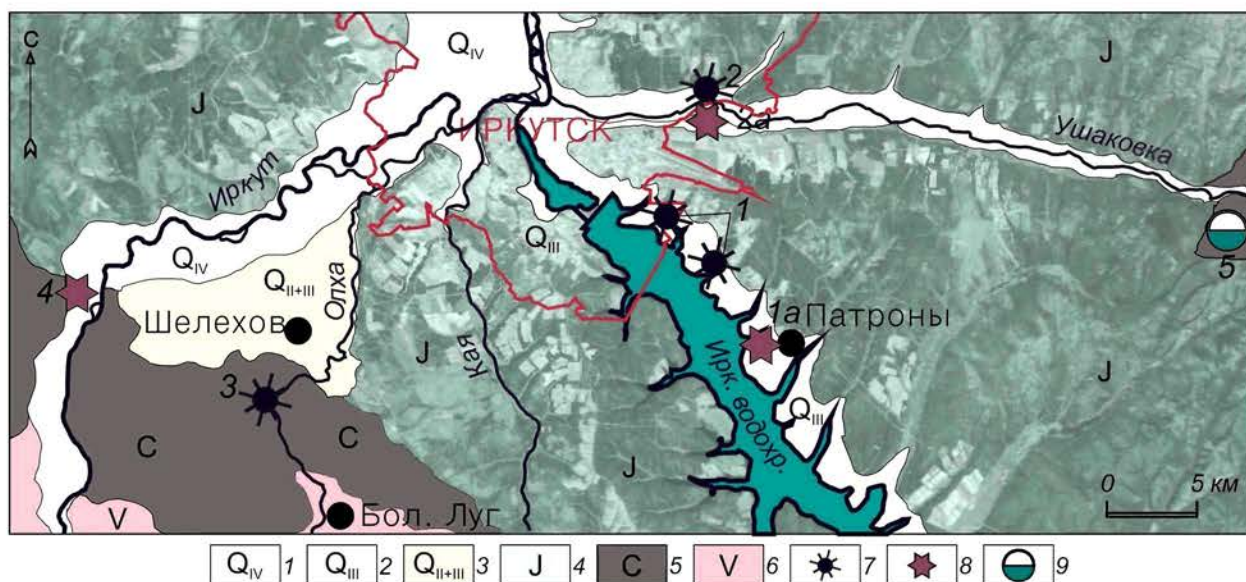


Рис. 5-1. Схема возможных источников водоснабжения г. Иркутска
 1– гравийно-галечниковые пойменные отложения (Q_{IV}); 2– песчано-гравийно-галечниковые отложения второй надпойменной террасы (Q_{II}); 3– песчано-гравийно-галечниковые отложения второй и третьей надпойменной террасы (Q_{II+III}); 4– песчаники и алевролиты юрских угленосных отложений (J); 5– доломиты и известняки нижнего кембрия (C); 6– алевролиты и песчаники венда (V); месторождения подземных вод с утвержденными запасами – 7 и с незащищенными запасами – 8; 9– Добролетский участок. Цифрами месторождения: 1- Иркутское; 2- Ушаковское; 3- Олхинское; 4- Баушинское (Большелукское)

баланс. В дальнейшем при выполнении темы Госкомитета по науке и технике «Оценка естественных ресурсов подземных вод» было обнаружено Баушинское скопление карстовых подземных вод – одно из немногих очаговых разгрузок подземного потока карстовых массивов Предсаянья. Одновременно крупное скопление подземных вод было найдено в долине р. Олхи вблизи с. Олха. Карстовый очаг под именем Олхинского месторождения пресных вод был разведан, запасы утверждены в ГКЗ СССР и включены в баланс. В начале 90^х гг. прошлого столетия в долине р. Ушаковки вблизи пос. Добролет было установлено крупное водопроявление, принадлежащее карстовому массиву. Перечень упомянутых источников на приведенном рис. 5-1 полностью характеризует перспективу использования подземных вод для цели городского водоснабжения.

В действительности возможность привлечения подземных вод от источников в систему существующего водоснабжения города с территории, ограничиваемой расстоянием в 30 км до потребителя, лимитирована некоторыми обстоятельствами. На текущий момент по всем месторождениям с утвержденными запасами истек 25-летний балансовый срок, а в границах зон санитарной охраны проектных водозаборов произошли существенные изменения. Кроме этого, принятые при подсчете эксплуатационных запасов схемы водозаборов не отвечают современным техническим возможностям и в этой связи должны быть пересмотрены. Все перечисленное накладывает ограничения на использование подсчитанных ранее эксплуатационных запа-

сов, и теперь их необходимо предварительно подтвердить количественно и опробовать в качественном отношении.

При рассмотрении возможных подземных источников централизованного водоснабжения г. Иркутска становится ясно, что они обладают различной перспективностью. Степень готовности каждого источника к использованию различна. Она зависит от детальности и изученности, удаленности от водопотребителя, размеров потенциальных запасов, качественного состояния воды, наличия достаточных земельных ресурсов для учреждения зон санитарной охраны водозаборов, естественной защищенности водоносного горизонта и необходимости придать всей области формирования подземного стока статус особо охраняемой территории. Перечисление критериев перспективности указывает на преимущество месторождений с утвержденными в ГКЗ эксплуатационными запасами, особенно Ушаковского и Иркутского, которые размещаются на ближайшем расстоянии от г. Иркутска и содержат крупные запасы, сопоставимые с потребностью города. Поэтому проектам на доразведку месторождений должны предшествовать работы корректирующего характера, вид и объем которых рассмотрены детальнее в главах далее. Что же касается перспективных «месторождений» с прогнозными запасами, то для их подтверждения требуется проведение полномасштабных разведочных работ. Скопления подземных вод изучены с различной степенью детальности, поэтому требуют неодинаковых усилий для своей реабилитации или разведки/доразведки.

Реализация проекта городского водоснабжения за счет подземных вод стартовала в прошлом столетии и была тесно связана с фактором госбезопасности, когда в приоритете находилась стратегия автономности питьевого водоснабжения. Часть работ была выполнена ранее, завершившись в качестве предпроектной документации для схемы водоснабжения г. Иркутска авторов Бондаренко Л.Н., Бондаренко Е.М. и Преловского К.К. (1972 г.). Положительные результаты по поискам источников децентрализованного водоснабжения города удалось получить уже на первых этапах съемочных работ. В долине р. Ушаковки, в днище и в основании правого склона были обнаружены крупные геофильтрационные аномалии, в пределах которых удельная производительность скважин доходила до 5-20 л/с. Впоследствии под названием «Ушаковское месторождение пресных подземных вод» оно было разведано, а запасы защищены в ГКЗ. Использование этих вод предполагалось исключительно в «особый период». Во время проведения масштабных гидрогеологических исследований внимание к себе привлекла также зона подпора подземных вод на правобережье водохранилища Иркутской ГЭС. В ненарушенных условиях валунно-галечниковые отложения третьей надпойменной террасы мощностью 8-12 м не содержали воды. С поверхности они перекрывались 14-16-метровым слоем делювиальных суглинков, а залегали на цокольной поверхности коренных песчаниково-алевролитовых пород. С заполнением водохранилища произошло обводнение валунно-галечникового слоя, сформировался напорный водоносный горизонт. Первые скважины, пройденные в этих отложениях, оказались весьма водообильными: удельные де-

биты при очень малой скважности фильтров (2-3%) достигали 15-25 л/с. Таким образом, на стадии поисково-съёмочных работ, почти в черте города удалось выявить два чрезвычайно перспективных под разведку участка. Перспектива была настолько очевидна, что сразу же по окончании съёмки приступили к разведочным работам на Ушаковском месторождении. Детальные исследования подтвердили ранее сделанный прогноз, но только в количественном отношении. Что же касается качественного состояния подземных вод, то содержание марганца, закисного и общего железа в 8-10 раз превышало уровень ПДК. Для централизованного водоснабжения это предполагало дорогостоящую водоподготовку с железоудалением и деманганацией. Сведения о железе и марганце полностью подтвердились при попытке эксплуатации части месторождения при водоснабжении военного госпиталя в пос. Зеленый.

Более удачной оказалась разведка Правобережного месторождения подземных вод. На четырех площадках суммарные запасы, принятые на баланс в 1975 г., равнялись 61,5 тыс. м³/сут. Качественные показатели воды оказались достаточно высокими, что в принципе исключало водоподготовку. Однако, несмотря на относительно большие запасы и качественную кондиционность воды, месторождение было отвергнуто. Причинами для этого послужили недостаточность запасов и крайне сложная система проектного водозабора, состоявшая из полсотни эксплуатационных скважин, объединенных в линейный ряд длиной 15 км, трех дюкеров и общего коллектора. Все это сделало подземный источник централизованного водоснабжения областного центра экономически непривлекательным, после чего все усилия были направлены на реализацию проекта городского поверхностного водозабора от плотины ГЭС.

Оставив попытки в использовании подземных вод отложений четвертичного и юрского возраста, специалисты-гидрогеологи обратили внимание на карстовые массивы юго-восточного Присаянья и Южного Предбайкалья [97]. Наиболее близкими к Иркутску оказались фрагменты закарстованных массивов в долине рек Олхи, Иркуты и Ушаковки. Рекогносцировочное обследование выполнили сотрудники ИЗК СО РАН, подтвердив в целом благоприятный прогноз: подземный сток с Олхинского закарстованного массива был оценен в 0,75 м³/сут, что было весьма близко эксплуатационным запасам Олхинского месторождения – 0,67 м³/с. Поскольку при разведке задействована лишь малая доля подземного стока, то основная роль в балансе водопритоков принадлежала поверхностному стоку. Месторождение по условиям восполнения запасов оказалось инфильтрационным, незащищенным, и неприемлемым по экономическому фактору из-за огромного расстояния до потребителя.

По итогам всех выполненных поисковых и разведочных работ ранее актуальными по сей день остаются лишь два вышеназванных источника водоснабжения города за счет подземных вод, а именно Иркутское и Ушаковское месторождения. Оставшиеся месторождения и перспективные участки за чертой г. Иркутска отошли на рассмотрение к городам-спутникам, став ре-

альным альтернативным подспорьем в существующих схемах водоснабжения (Олхинское и Баушинское для г. Шелехов, к примеру).

5.2. Особенности природных условий при организации автономного централизованного водоснабжения за счет подземных вод

Организация водоснабжения за счет подземных вод в геолого-гидрогеологических условиях Иркутской территории требует детальной консолидации данных для выбора актуального ресурсного источника. Два обозначенных в предыдущей главе месторождения имеют разные перспективы к использованию, что применительно к вопросу водоснабжения крупного объекта как города диктует необходимость пояснения природной обстановки в несколько ином “свете”. Будущие перспективы месторождений зависят напрямую от стабильности качественного состава вод, т.к. наличие изначально пригодных к потреблению подземных вод исключало бы дорогостоящую водоподготовку и уменьшало бы финансовые затраты в будущей эксплуатации. Особенности природных условий были затронуты описанием в предыдущих главах ранее, но в границах городской территории с акцентом на использование подземных вод в целях водоснабжения далее рассматриваются с большим вниманием.

Как уже было отмечено, город с предместьями находится в центре Прииркутской впадины – самого глубокого погружения в Иркутском угленосном бассейне. Мощность угленосных терригенных отложений достигает 750 м, верхняя часть разреза до глубины примерно 150 м расчленена долинами рек Ангары, Иркуты, Ушаковки и Каи на уплощенные междуречья (рис. 5-2). Консолидированные коренные породы в массе представлены песчаниками, для которых характерна кварц-полевошпатовая минеральная ассоциация [102]. Песчаники чередуются с невыдержанными прослоями алевролитов, реже – аргиллитов и углей непромышленной мощности. Для этой части разреза свойственен контактово-плечный цемент глинисто-карбонатного состава. Карбонатный цемент состоит из кальцита, анкерита, сидерита и высокожелезистого сидеритоплезита [38]. Согласно последнему обзору [10], среднее содержание железа в осадочных породах угленосных бассейнов Сибири равно 3,54%. В Прииркутской впадине доля Fe_2O_3 равна 4,57%. Кларк марганца для угленосных пород оценен в 830 г/т. В Прииркутской впадине до глубины 100 м его содержание в форме MnO определено в 0,81%. Представлен марганец в основном родохрозитом (MnCO_3). Таким образом, ресурс двух поливалентных элементов в коренных породах неограничен, а их переход, накопление и рассеивание в подземных водах определяется pH-Eh обстановкой, гидрогеодинамическим полем и пространственной изменчивостью железисто-марганцевой минерализации пород.

Нижняя граница зоны пресных вод (ЗПВ) в целом совмещается с зоной свободного водообмена (ЗСВ), а на междуречьях и в днищах долин малых рек Ушаковки и Каи она опускается до глубины в 50-80 м ниже уреза крупных рек Иркуты и Ангары, где мощность ЗПВ уменьшается до нескольких

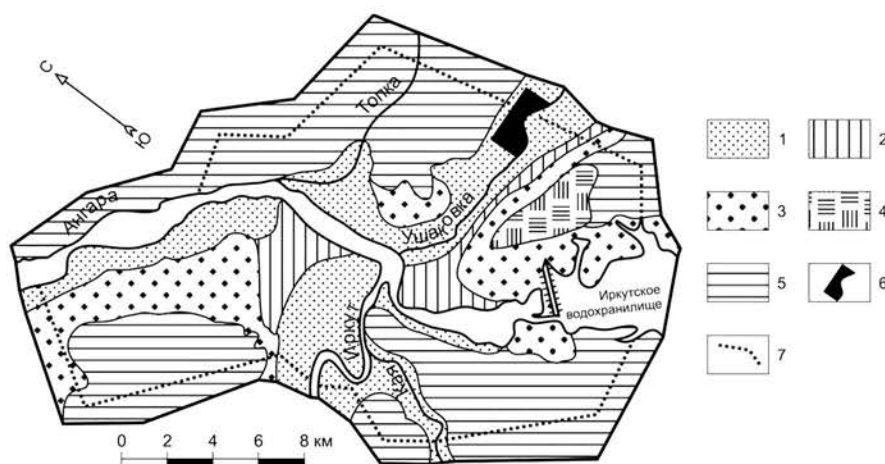


Рис. 5-2. Схематическая геологическая карта с Ушаковским и Иркутским месторождениями подземных вод

1-4 - неконсолидированные четвертичные отложения: 1 – поймы, 2 – низкого комплекса надпойменных террас, 3 – третьей надпойменной террасы, 4 – четвертой надпойменной террасы; 5 – консолидированные породы юрского возраста; 6 – Ушаковское и Иркутское месторождения пресных подземных вод; 7 – схематичная граница города

метров. На междуречьях хорошее развитие получила зона аэрации, мощность которой вблизи водоразделов достигает 70 м. Лито-фациальная пространственная неоднородность консолидированных пород создала условия для накопления гравитационной влаги на невыдержанных промежуточных водопорах. Образовалась система кулисообразно расположенных гидравлически автономных водоносных линз, совокупность которых образует “подвешенный” водоносный горизонт сродни верховодке. Но в отличие от нее он обладает постоянным стоком, внешней (в виде контактно-эрозионных родников) и внутренней разгрузкой (перелив с линзы на линзу и на поверхность зоны насыщения). В этой части гидрогеологического разреза происходит масштабное преобразование гидрогеохимических условий, индикаторами которого могут служить растворенный кислород, агрессивная уголекислота и минерализация подземных вод. Процесс преобразования поступающих на поверхность земли гидрометеоров нагляднее всего проследить по родниковому стоку Топка-Ушаковского междуречья, где плотность источников наибольшая. Обильное водопроявление связано в первую очередь с высокой плотностью эрозионной сети 3 и 4 порядков и малой мощностью покровных четвертичных отложений (рис. 5-3). Минерализация гидрометеоров, отобранных в центре города в 1985-1992 гг., в большинстве случаев изменялась в диапазоне 5-10 мг/л при величине рН, равном 4-5. Следовательно, уже на старте инфильтрации атмосферные осадки обладают хорошо выраженной выщелачивающей и общекислотной агрессивностью по отношению к цементу пород зоны аэрации. Поэтому нисходящее давление гравитационной влаги даже на коротких путях фильтрации сопровождается довольно быстрым нарастанием минерализации, но с различным вертикальным градиентом. В диапазоне абсолютных отметок 550-490 м увеличение минерализации происходит со ско-

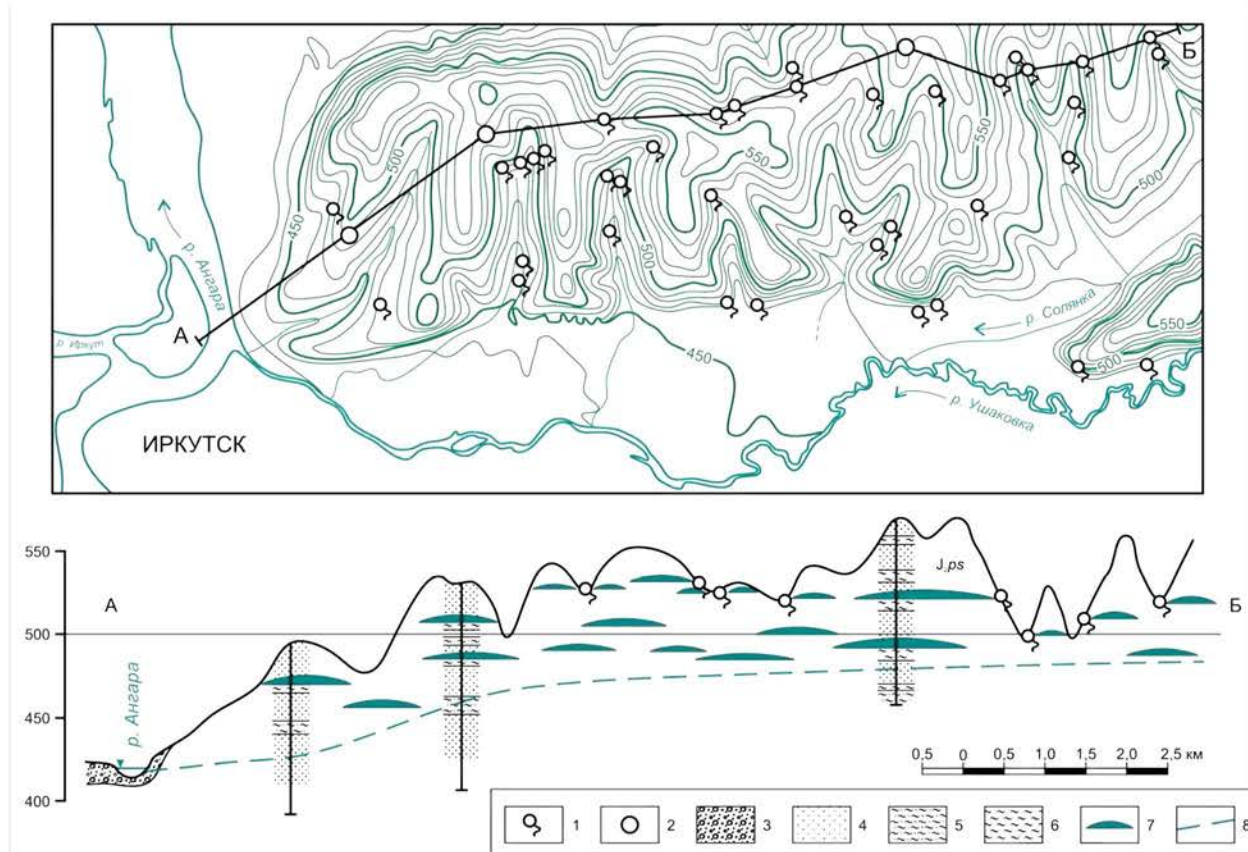


Рис. 5-3. Родники “подвешенного” водоносного горизонта на Топка-Ушаковском междуречье

1 – родник; 2 – скважина; 3 – четвертичные аллювиальные отложения; 4 – песчаники; 5 – алевролиты; 6 – аргиллиты; 7 – линзы подземных вод; 8 – поверхность грунтового потока

ростью 1,5 мг/м, а в интервале 490-470 м с темпом 7 мг/м (рис. 5-4). И это несмотря на то, что на старте инфильтрации дефицит насыщения по CaCO_3 имеет максимальную величину – 90 мг/л. Очевидно, что редукция неравновесности в значительной степени зависит от продолжительного контакта воды с породой. Время контакта в свою очередь зависит от протяженности пути фильтрации и скорости перемещения влаги. Помимо глубины залегания водоносных линз фильтрационный путь зависит от поперечного трапециодального профиля междуречий водотоков 3 и 4 порядков. С увеличением глубины залегания линзы увеличивается и горизонтальная составляющая пути фильтрации, а наряду с этим, с глубиной происходит снижение водопроницаемости пород и, следовательно, замедление темпа водообмена. Все вместе взятое увеличивает время контакта, позволяя наиболее полно устраниться неравномерности в системе вода-порода.

Параллельно увеличению минерализации происходит обескислороживание воды. Содержание кислорода на старте достигало 11 мг/л, а с глубиной количество кислорода довольно быстро сокращалось и на нижней границе зоны аэрации снижалось до 7 мг/л. Подобного рода динамика свойственна лишь для периода инфильтрационного питания. Во время независимого режима, когда расход кислорода не компенсируется, наблюдается временная редукция. Годовой цикл наблюдений за родником в пади Грязнуха показал,

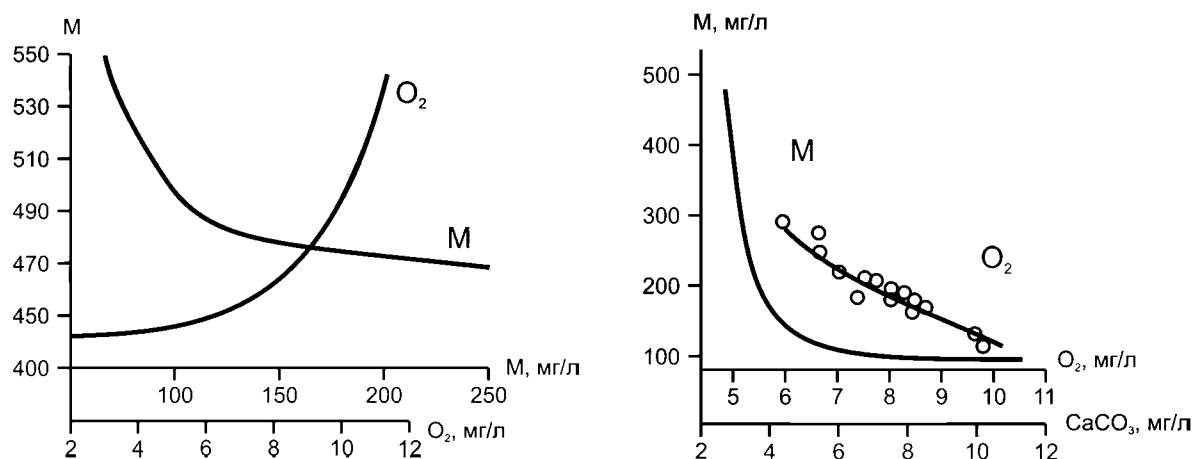


Рис. 5-4. Изменение минерализации воды и растворенного кислорода “подвешенного” горизонта с глубиной залегания водоносных линз (слева) и общая связь минерализации и дефицита насыщения CaCO_3 , минерализацией и растворенным кислородом в интервале годового цикла (справа)

что за холодный период на фоне увеличения минерализации от 100 до 290 мг/л, концентрация кислорода снизилась с 9,8 до 6 мг/л. Обескислороживание подземных вод связано главным образом с окислением рассеянного углистого вещества и в меньшей степени – сульфидов, о чем свидетельствует наибольшее, но устойчивое повышение содержания сульфатов с глубины.

Примерно на уровне цокольной поверхности четвертой надпойменной террасы зона аэрации завершается, уступая место зоне полного насыщения. Стартовые условия восполнения для нее уже существенно иные: дефицит насыщения CaCO_3 существенно снизился, величина водородного показателя вплотную приблизилась к нейтральной отметке, минерализация воды в 20-30 раз превысила уровень гидрометеоров, насыщение воды кислородом снизилось вдвое. И только величина E_h осталась практически неизменной (+300...+350 мВ), да концентрация железа и марганца по прежнему не превышала 20-30 мкг/л.

В зоне насыщения темп водообмена замедляется. По данным резистивиметрового каротажа действительная скорость движения не превышает 1-2 м/сут даже в слое высокопроницаемых пород, коэффициент фильтрации которых приближается к 40-60 м/сут. С увеличением времени контакта воды с породой постепенно исчерпывается дефицит насыщения CaCO_3 и происходит полное обескислороживание воды, минерализация которой возрастает до 0,5-0,6 г/л, водородный показатель к подошве грунтового (субнапорного) водоносного горизонта снижается до 6,2, окислительно-восстановительный потенциал уменьшается до +150 мВ. Параллельно происходит рост содержания диоксида углерода до 70-80 мг/л и появляется аммонийный азот и зачастую – небольшое количество сероводорода. Но главным результатом обескислороживания являлось накопление в ионной форме закисного железа и марганца, содержание которых многократно превышает ПДК_В. По своему гидрогеохимическому облику нижняя часть водоносного комплекса хорошо сопоставляется с глеевым водоносным горизонтом. Эти воды вскрыты повсеместно, что

позволяет рассматривать их в качестве неперенного элемента гидрогеохимического разреза не только рассматриваемой территории города, но и всего Иркутского угленосного бассейна.

Таким образом, грунтовый (субнапорный) водоносный комплекс состоит из двух горизонтов, почти не отличающихся по общему химическому составу и величине минерализации. Основное различие касается кислорода, железа и марганца. При ненарушенном режиме стока горизонты гидравлически автономны, имеет единую уровненную поверхность и достаточно контрастную границу раздела. Но в условиях искусственно нарушенного режима (при водоотборе из каптажей) поверхность раздела $O_2/(Fe+Mn)$ смещается вверх, что приводит к захвату некондиционных вод. На фоне относительного постоянства минерализации и общего химического состава вод глеевого горизонта существует хорошо выраженная пространственная неоднородность по содержанию железа и марганца. К этому следует добавить крайне изменчивую мощность горизонта. Объяснить подобного рода вариации только особенностями субстрата, содержащего различное количество минералогических форм железа и марганца, легко переходящее в раствор, невозможно из-за их явной избыточности даже на минимальном уровне. То же самое можно сказать и о углистом веществе. Вместе с тем, потребление растворенного кислорода напрямую связано с продолжительностью контакта воды с породой, что приводит к смещению редокс-потенциала в восстановительную область.

В свою очередь, продолжительность контакта обуславливается темпом водообмена или иными словами - гидрогеодинамической обстановкой в областях питания, стока и разгрузки. По этому признаку на рассматриваемой территории можно выделить четыре группы участков с примерно однородными гидрогеодинамическими условиями: междуречья, площадки среднего комплекса террас, площадки низкого комплекса террас и поймы. Для более полной характеристики глеевого горизонта (мощность, вертикальные градиенты, содержание Fe и Mn, взаимоотношение со смежными горизонтами) сведения, получаемые в процессе проведения в скважинах опытно-фильтрационных работ, оказались недостаточными. Чтобы восполнить пробел, был использован дискретный гидрогеохимический каротаж. Сифонным пробоотборником, заполненным азотом, с фиксированных глубин в открытом стволе скважин отбирались пробы воды для последующего химического анализа. Благодаря каротажу удалось подтвердить предположение о весомом влиянии гидрогеодинамического фактора на формирование глеевого горизонта (табл. 5-1). На участках инфильтрационного питания наблюдается максимальная мощность кислородосодержащих вод. Кровля глеевого горизонта встречена на глубине 60 и более метров, но при этом концентрация закисного железа редко превышает 0,3, а марганца 0,005 мг/л. Проходя под водоупорным покровом делювиальных суглинков третьей террасы, подземный сток лишь расходует кислород. Мощность кислородосодержащих вод снижается до 20 м, но сильно возрастает мощность глеевого горизонта, в воде которого резко увеличивается содержание обеих элементов. Движение потока под от-

Таблица 5-1

Обобщенная гидрогеологическая структура безнапорного (субнапорного) водоносного горизонта

Фрагменты территории	Преобладающие элементы водообмена	Мощность, м		pH	Eh, мВ	Содержание, мг/л			
		Кислород-содержащих вод	Глеевых вод			O ₂	CO ₂	Fe ²⁺	Mn ²⁺
Междуречье	Питание, сток	60	10	7,0	+350	6,0	35	0,3	0,05
Средний комплекс террас	Сток	20	45	6,8	+250	0,15	40	1,6	0,21
Нижний комплекс террас	Сток, фронтальная разгрузка	15	20	6,9	+200	0,10	50	3,0	0,80
Пойма	Сток, восходящая разгрузка	0,0	30	6,7	+150	0,0	70	10	2,0

ложениями нижнего комплекса террас также происходит без восполнения ресурсов. Поэтому продолжается обескислороживание, уменьшение положительной величины Eh и рост концентрации Fe и Mn. Единственное ванное отличие от предыдущего фрагмента – это промежуточная разгрузка фронтального типа кислородосодержащих вод на цокольных уступах террас. Что же касается глеевых вод, то область их разгрузки, преимущественно восходящей, то она почти полностью совмещается с поймой. В узкой полосе сочленения поймы р. Ушаковки со склоном прослеживаются переливающиеся пластовые выходы и даже сосредоточенные родники, в воде которых концентрация железа и марганца достигает 3-8 мг/л (Толстомысовский и Пивоварский источники). Подобного рода родники обнаружены на пойме р. Каи (пос. Марково) и в устье пади Долгой (мкр. Университетский). Поступление глеевых вод в подземные воды аллювиальных отложений поймы коренным образом снижает их качество, но только в приконтактной зоне с породами коренной основы. Верхняя основная по мощности часть водоносного горизонта практически свободна от Fe и Mn. Здесь господствует резко окислительная обстановка, обусловленная инфильтрацией кислородосодержащих гидротермов. Поэтому не удивительно, что копаные колодцы, работающие преимущественно дном, дают кондиционную по Fe и Mn воду, тогда как забивные буровые скважины, прорезающие всю аллювиальную толщу, дают, как правило, воду с высоким содержанием металлов. Важно отметить, что такая гидрогеохимическая обстановка сохраняется по всей пойме, вплоть до русловой зоны рек Ангары, Иркуты, Ушаковки и Каи. Последнее положение особенно важно, поскольку существует убеждение, что в береговой полосе

кровля глеевого горизонта опущена намного ниже дна реки. С ошибочностью такого представления пришлось столкнуться при разведке на реке Ангаре островного инфильтрационного водозабора для г. Ангарска. Несмотря на близость скважин к урезу реки и высоких фильтрационных свойств водовмещающих пород, концентрация железа и марганца в воде многократно превышала уровень ПДК_В.

Структурная схематизация, отраженная в табл. 5-1, дает лишь самое общее представление о глеевом горизонте. В действительности обстановка намного сложнее. Достигнутая детальность изучения позволяет выделить в первую очередь существующую связь между водопроницаемостью водовмещающих пород и величиной концентрации железа и марганца. Эта связь не аппроксимируется какой-либо зависимостью, а выражается в виде совмещения двух групповых принадлежностей. Так высокие концентрации Fe и Mn ассоциируются всегда с низкими фильтрационными свойствами. В качестве иллюстрации укажем, что максимальные концентрации железа (50-100 мг/л) обнаружены на пойме р. Ушаковки и ручья Топка, где коэффициент фильтрации едва достигает 1 м/сут. Напротив, минимальные концентрации элементов обнаружены на участках с высокой и относительно высокой водообильностью: удельная производительность скважин находилась в диапазоне 4-12 л/сек, что соответствует водопроницаемости, равной 500-1200 м²/сут.

Из вышеизложенного отметим, что основной эксплуатационный водоносный комплекс в нижней своей части представлен глеевым горизонтом. Отсутствие разделительного водоупора при гидродинамическом возмущении пласта создает реальную угрозу кислородосодержащим водам. При автономном малообъемном водопотреблении с небольшим понижением уровня, пульсационным водоотбором, манипулируя при необходимости глубиной скважины, положением насоса, в большинстве случаев можно добиться неучастия глеевого горизонта в водопритоке. Однако, при промышленной добыче, когда водоотбор сопоставим с запасами месторождения, откачка воды происходит безостановочно в течение десятилетий. В этом случае сработка уровня достигает допустимой расчетной величины. Депрессионная воронка растет вглубь и вширь. Максимальное снятие напора в зоне ближнего влияния каптажа стимулирует активный подток глеевых вод, который увеличивается с течением времени. Таким образом, первый от поверхности горизонт кислородосодержащих вод в процессе водоотбора утрачивает питьевую кондиционность. Особенно эффектно смешение проявляется при прорезке скважиной границы раздела O₂ (Fe+Mn). А это происходит практически постоянно. Именно по этой причине провинция железо-марганцевых вод в Ангаро-Ленском артезианском бассейне ассоциируется с первым от поверхности водоносным горизонтом [44].

С подобной ситуацией сталкиваются при организации децентрализованного водоснабжения на урбанизированных участках. Отсутствие ясного представления о реальной гидрогеохимической зональности пояса пресных вод нанесло большой ущерб и альтернативным источникам централизованного водоснабжения г. Иркутска, а именно Ушаковскому месторождению

подземных вод. Причиной отказа от освоения утвержденных в ГКЗ СССР эксплуатационных запасов по Ушаковскому месторождению послужило “появление” в воде железа в количестве до 3 мг/л, причем на разведочной стадии эта величина составляла всего 0,2 мг/л. Ресурсную тему необходимо дополнить экологическим элементом, имея ввиду места хранения бытовых и промышленных отходов, а также различные промплощадки. Воздействие этих объектов на грунтовые воды сопровождается снижением окислительно-восстановительного потенциала, что приводит к значительному накоплению железа и марганца, количество которых иногда десятикратно превышает ПДК_В. Поскольку источники загрязнения в большинстве своем размещаются в прибрежной полосе, то разгрузка пораженного грунтового потока происходит непосредственно в русле реки, для которой $\text{ПДК}_{\text{В.Р}} < \text{ПДК}_{\text{В}}$. Ухудшение природных условий в общем обзоре вынуждает использовать довольно сложные, но вполне осуществимые практически технические решения для организации водоснабжения на крупных водозаборах, примеры которых рассмотрены в главах далее.

5.3. Источники резервного водоснабжения города Иркутска (Ушаковское и Иркутское месторождения пресных подземных вод)

“Ушаковское” месторождение подземных вод расположено в основании правобережного склона долины р. Ушаковки в 9 км от устья реки (рис. 5-4). Оно было открыто в 1962 г. при бурении скважин в алевроитопесчаниковых породах юрского возраста, в которых на глубине 6,5 м был вскрыт безнапорный водоносный горизонт мощностью 27-31 м. Водообильность оказалась очень высокой: в скважине И-12 при дебите 36 л/с понижение уровня не превысило 1,7 м. Этот результат оказался неожиданным, т. к. ранее удельный дебит скважин, вскрывших воды в породах юрского возраста, не превышал 0,5 л/с. Обнаружение участка с удельным дебитом в 21 л/с свидетельствовало об выявленном перспективном участке с заметной величиной прогнозных эксплуатационных запасов. Вода имела минерализацию, не превышающую 400 мг/л, гидрокарбонатный магниевый-кальциевый состав и умеренное содержание растворенного кислорода. Одним из важных свойств качественного состояния воды являлось практически полное отсутствие железа.

На стадии предварительной разведки, проведенной в 1964 г., первоначальный успех выполненных работ получил дальнейшее развитие. Скважины У-10 и У-11, расположенные от скв. И-12 в 1120 и 2660 м вверх по течению р. Ушаковки, также вскрыли аномальную по водообильности зону с удельными дебитами в 20 и 12 л/с. Геоморфологическая позиция новых выработок была аналогична скв. И-12, при этом производительность откачки из скв. У-10 составила 68 л/с при понижении уровня 4,9 м. Удельный дебит оказался несколько ниже, чем в скв. И-12, тем не менее был весьма высок – 15 л/с. Откачка из скв. У-11 проходила с удельным дебитом в 20,4 л/с. Таким образом, выполненными работами вдоль основания правобережного склона долины р.

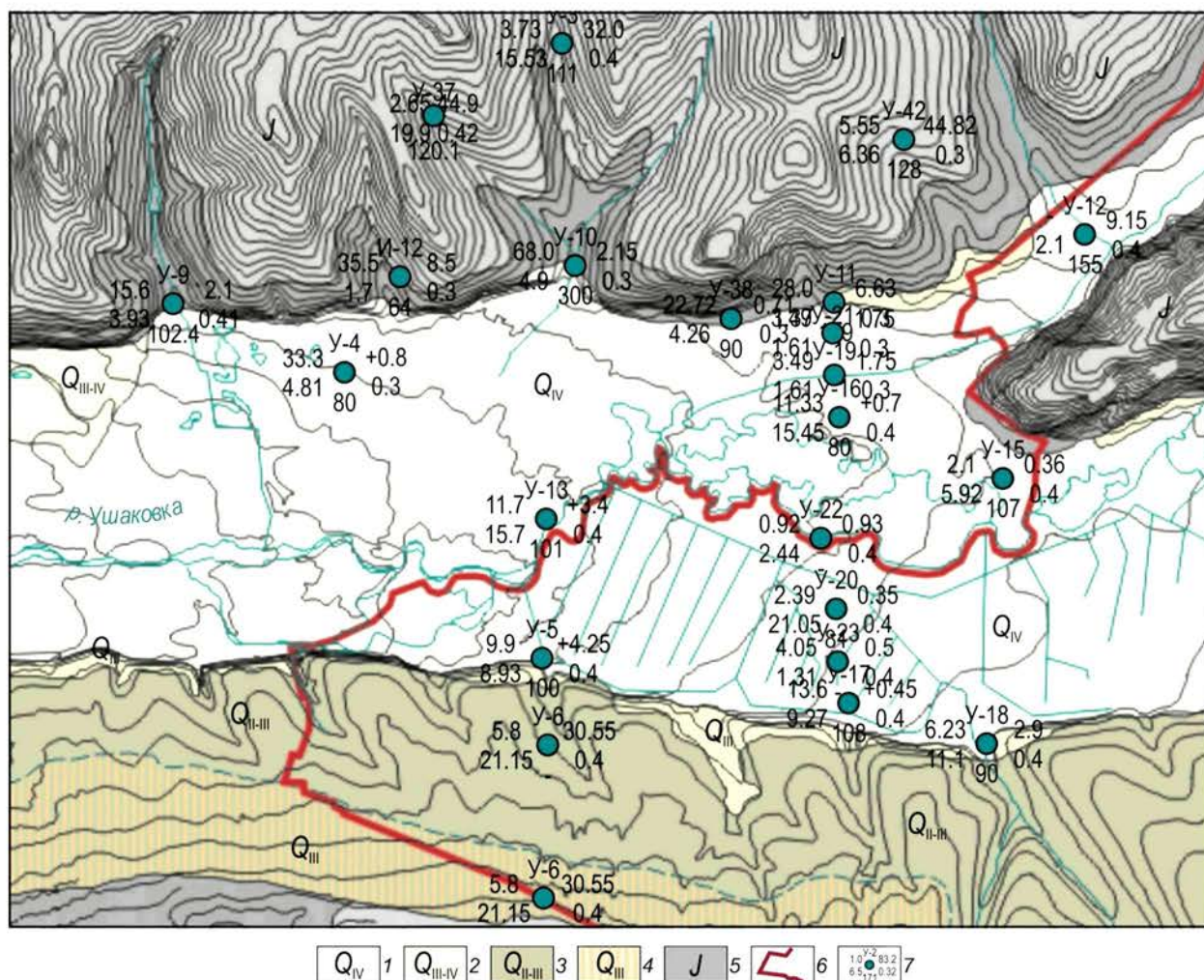


Рис. 5-4. Общая схема Ушаковского месторождения подземных вод
 1 – 5 - отложения террас и поймы; 5 – коренные породы юры; 6 – граница города Иркутска; 7 – разведочные скважины Ушаковского месторождения: вверху номер скважины, внизу глубина в м, слева в числителе дебит в л/с, в знаменателе понижение в м, справа в числителе уровень воды в м, в знаменателе минерализация воды в г/л

Ушаковки была выявлена зона высокой водообильности протяженностью более трех километров.

Результаты предварительной разведочных работ послужили основанием для проведения детальной разведки уже в масштабах месторождения в 1970-1971 гг. Для этого было сооружено два куста: один с центром у скв. У-10 (I), а другой – на пойме р. Ушаковки (II) напротив пос. Пивовариха. Кусты представляли собой равносторонние треугольники со стороной в 100-120 м, по вершинам которых размещались опытные буровые скважины. От кустов в разные стороны отходили лучи с наблюдательными скважинами общим количеством 35 единиц, оборудованными на три водоносных горизонта – аллювиальных отложений поймы, безнапорный и напорный в коренных породах юры. Последовательно из этих двух кустов была проведена групповая откачка, причем по трем скважинам ОФР выполнялись одновременно. Откачка имела продолжительность в 50 суток, дебит из куста I был равен 105

л/с при понижении уровня в центре треугольника на конец откачки на 3,3 м, а в опытных скважинах на 7,3-10 м. При откачке из напорного горизонта (куст II) дебит составил 68 л/с. Результаты ОФР свидетельствовали (рис. 5-5), что на месторождении существуют два автономных водоносных горизонта –

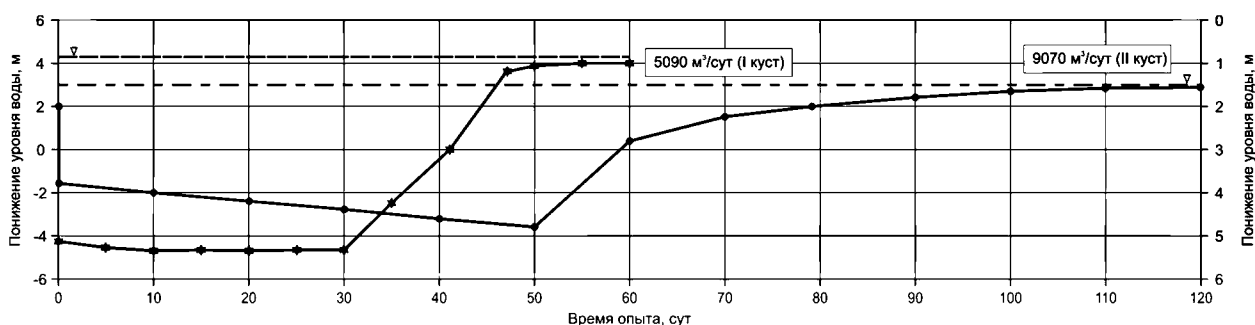


Рис. 5-5. Динамика понижения и восстановления уровня при опытно-эксплуатационной откачке на Ушаковском месторождении

грунтовый и напорный. Этот вывод был подтвержден как с гидродинамической стороны, так и с гидрохимической. Как известно, при откачке из напорного горизонта удельный дебит стабилен по величине, а если и изменяется, то незначительно. Напротив, при водоотборе из безнапорного горизонта рассматриваемый параметр подвержен существенному направленному изменению – с увеличением понижения удельный дебит уменьшается. Это снижение происходит по причине возрастания гидравлического сопротивления и из-за падения водопроницаемости пород с глубиной (табл. 5-2).

Таблица 5-2

Изменение удельного дебита с увеличением понижения по скважинам куста I

Скважина	Дебит, л/с			Понижение, м			Удельный дебит, л/с		
	Ступень понижения			Ступень понижения			Ступень понижения		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
У-12	21,1	17,5	12,7	4,0	2,1	1,2	5,3	8,3	10,6
У-9	15,6	9,7	4,4	3,9	2,1	0,9	4,0	4,6	4,3
У-15	17,1	13,7	10,0	5,9	2,2	1,05	2,9	6,2	9,5

Стабильность удельного дебита по скв. У-9 позволяет сделать вывод о том, что обратно пропорциональная связь удельный дебит – понижение обусловлена безнапорным режимом водоносного горизонта. Этому заключению способствуют особенности динамики снижения уровня при откачке, которая от начала и до конца шла при неустановившемся режиме фильтрации. Налицо характерный признак безнапорного водоносного горизонта, который и состав имеет соответствующий этому горизонту – гидрокарбонатный щелочно-земельный (табл. 5-3). Следовательно, групповой откачкой опробован преимущественно грунтовый водоносный горизонт. В ходе опытно-фильтрационных работ установлено, что в нарушенных условиях три водоносных горизонта интерферируют, при этом в рассматриваемый водоносный

Таблица 5-3

Минерализация и химический состав воды безнапорного и напорного водоносных горизонтов юрских отложений

Горизонт	T, °C	pH	Компоненты состава, мг/л								M, г/л
			Na	Ca	Mg	HCO ₃	SO ₄	Cl	Fe	O ₂	
Безнапорный	3,9	6,6	25	21	18	207	4,0	14,5	3,0	3,31	0,29
Напорный	0,0	0,6	98	0,9	0,9	280*	6,4	17,5	0,0	0,26	0,38

горизонт идет нисходящее и восходящее перетекание из водоносных горизонтов аллювиальных отложений поймы и напорного пласта соответственно. Вблизи центра депрессионной воронки понижение уровня в этих горизонтах достигало 3,0 и 1,8 м соответственно.

Опытно-фильтрационные работы на кусте II продолжались 30 суток. До начала откачки все скважины фонтанировали – пьезометрический уровень располагался выше поверхности земли на 4,2 м (рис. 5-5). Режим снижения уровня с почти мгновенной его стабилизацией, совершенно отличный от безнапорного горизонта состав воды (содовый) и температура – все говорит о гидрогеодинамической автономии этажно залегающих водоносных горизонтов в условиях ненарушенного режима подземного стока. Существует еще одно важное различие между водоносными горизонтами: безнапорный горизонт активно дренируется в долинах рек Ушаковки и Ангары, тогда как напорный исключительно в русловой зоне последней. Тем не менее, в условиях нарушенного режима в центральной части депрессионной воронки установлено понижение уровня воды в вышезалегающих водоносных горизонтах до 1,4 м.

По результатам детальной разведки были подсчитаны эксплуатационные запасы (“Отчет о результатах...”, Бондаренко Л.Н. с соавт., 1972 г.). Расчетный водозабор состоял из линейного ряда скважин И-12, У-10 (куст I) и У-11 длиной 2,6 км. Куст II из схемы подсчета запасов был исключен, что соответствовало концепции единого водоносного горизонта. В авторском варианте запасы по категориям А+Б+С оценены были в 32000 м³/сут. Частичная эксплуатация Ушаковского месторождения позднее привела к неожиданным результатам: в воде обнаружилось закисное железо в количествах, превышающих ПДК_В в 8-10 и более раз. Эту проблему изучали сотрудники ИЗК СО РАН в 1987 г. на водозаборе «Толстый мыс», проводя специальные исследования на скв. У-11. Была детально изучена гидрогеохимическая зональность подземных вод угленосных отложений юрского возраста в той их части, где залегают пресные воды. Оказалось, что грунтовый водоносный горизонт мощностью до 20 м содержит воды с растворенным кислородом, в которых железо отсутствует. Ниже зоны окисления распространены глеевые воды, главной особенностью химического состава которых является высокое (до 100 мг/л) содержание закисного железа (Fe²⁺), отсутствие кислорода, повышенная концентрация диоксида углерода (CO₂) и некоторое превышение

жин растворенного кислорода и закисного железа (Fe^{2+}) соответственно равнялось 2,75 и 1,60 мг/л; 2,5 и 2,0 мг/л, а окисное железо Fe^{3+} отсутствовало. Вода из обеих скважин имела отчетливый запах сероводорода. Минеральные формы азота (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) практически отсутствовали. Из сопоставления результатов в табл. 5-4 и 5-5 следует, что при гидродинамическом возбуждении скважин железо представлено исключительно в закисной форме, т.е. подток глеевых вод происходит быстрее кинетического процесса окисления железа. Это лишний раз доказывает существование подзоны гидрокарбонатных кислородосодержащих вод. Чтобы окончательно убедиться в этом, был проведен третий каротаж в условиях длительной остановки работы водозабора сроком более 3 недель. В табл. 5-6 помещены результаты гидрогеохимического каротажа в скв. 3 с шагом 3 м до глубины 32,5 м при уровне воды

Таблица 5-6

Результаты дискретного гидрогеохимического каротажа после длительной остановки водозабора

Глубина, м	17,5	2,5	23,5	26,5
O_2 , мг/л	5,40	5,20	4,85	6,45
Fe^{2+} , мг/л	0	0	0	-
Fe^{3+} , мг/л	0,5	1,2	1,0	-
Mn, мг/л	0,05	0,05	-	-

в 14,6 м. Из результатов работ и лабораторных определений видно, что при отсутствии восходящего перетекания зона кислородных вод восстанавливается. Так нижняя граница «нулевой» кислородной поверхности залегает на глубине примерно 40-45 м, а следовательно, мощность зоны кислородных вод не превышает 25-30 м. Вполне резонно предположить, что пробуренные при детальной разведке месторождения эксплуатационные скважины переуглублены на 15-20 м.

При водоотборе из куста I и куста II водоносные горизонты гидравлически взаимодействуют между собой. При этом различают два вида взаимодействия: по стволу скважины (переуглубление выработок) и площадное межпластовое перетекание. На водозаборе «Толстый мыс» имеют место оба вида восходящего движения подземных вод, т.к. при глубине скважины в 60 м вскрываются уже содовые воды. Опробование скважины водозабора в 1986 г. показало долю натрия в воде на уровне 30%-экв. При отсутствии же пластового перетекания или незначительности его участия количество натрия не превышает 10-14%-экв, что отражено в таблице 5-7.

Присутствие сверхнормативных количеств железа и марганца не было обнаружено в процессе предварительной и детальной разведок Ушаковского месторождения ни на одном его участке, что коренным образом повлияло на его будущую реализацию и заморозило использование в качестве источника водоснабжения. Позже выяснилось, что при опытных откачках в качестве водоподъемного устройства использовался эрлифт, работа которого создавала водно-воздушную смесь на подъем вместо воды. Пластовые воды посредст-

Таблица 5-7

Минерализация и химический состав воды эксплуатируемых участков Ушаковского месторождения

Местоположение скважины	Дата опробования	Компоненты состава вод					
		%‑экв			мг/л		
		Na	Ca	Mg	O ₂	Fe _{общ}	Mn
Толстый мыс	18.12.86	29,7	28,9	40,8	3,31	3,0	290
Пионерлагерь Чайка	23.05.81	14,4	57,6	28,0	0,55	3,0	230
Первомайский, СТФ	22.07.74	12,4	60,2	26,8	0,0	0,9	244
Пионерлагерь Маяк	24.05.81	10,7	55,8	33,4	0,14	0,9	210

вом эрлифта подвергались экстремальному аэрированию, при котором закисное железо выпадает в осадок. При этом отмечалось, что наиболее часто встреченная концентрация общего железа по результатам опробования в отчетных материалах не превышает 0,2 мг/л, т.е. меньше ПДК_В.

Вышеизложенное рассмотрение основных гидрогеологических особенностей Ушаковского месторождения позволяет подытожить, что при освоении месторождения участком водозабора “Толстый мыс” выявилась некондиционность воды по железу и марганцу. Дополнительно выполненные гидрогеологические исследования показали, что скважинами глубиной 60-65 м вскрывалась зона глеевых вод, в то время как зона кислородных безнапорных вод частично или полностью перекрыта глухой надфильтровой колонной эксплуатационных скважин. Некондиционность подземных вод заставила отказаться от дальнейшей эксплуатации месторождения. Однако она обусловлена техническими просчетами в рекомендациях изыскателей при сооружении водозабора, из-за чего возникает необходимость обезжелезивания и деманганизации. Для этого используются довольно сложные технические решения, которые реализуются вне водоносного горизонта либо внутри его. В первом варианте воды подается в цех водоподготовки, аэрируется, обрабатывается коагулянтами и после фильтрации подается потребителю. Способ технологически сложный, трудоемкий и весьма затратный. Более экономичен способ, обеспечивающий водоподготовку в пласте, когда окислитель подается в водоносный горизонт таким образом, что вокруг эксплуатационного каптажа создается искусственный геохимический барьер [4]. Огромные капитальные затраты опускаются, если используется технология пластового обезжелезивания и деманганизации с реализацией схемы геохимического барьера непосредственно в пласте в естественном виде. Анализ гидрогеологической обстановки позволяет утверждать, что в районе размещения Ушаковского месторождения существуют благоприятные условия подобного рода.

Реализации схемы пластовой очистки располагает природная гидрогеохимическая обстановка: глеевым горизонтом пояс пресных вод не исчерпывается, а ниже по разрезу с отрывом до 20 м залегает напорный водоносный горизонт содовых вод, который по настоящее время вскрыт множеством скважин по городу и окрестностям, также и на водозаборе р. Ушаковка. Вне

водораздельных пространств все такие скважины изливаются и иногда фонтанируют с напором над поверхностью земли до 6-8 м. Водоносный горизонт относится к “неограниченным” пластам и содержит воду, химический состав которой несовместим с железом и марганцем. Иными словами это естественный щелочной барьер, на котором неизбежно должны выпадать из жидкой фазы эти два элемента. Задача заключается в подводе железомарганцево-содержащих вод к такому естественному барьеру. С этой целью далее рассматривается взаимодействие смежных горизонтов в ненарушенном и нарушенном режиме стока.

Когда возмущение водоносного комплекса и напорного горизонта отсутствует – они гидравлически автономны, что подтверждается дискретным гидрогеохимическим каротажем (табл. 5-8), проведенным на водозаборных

Таблица 5-8

Изменение химического состава воды с глубиной

Глубина отбора пробы, м	pH	Eh, мВ	Компоненты химического состава, мг/л										M, г/л
			Fe	Mn	Na	Ca	Mg	F	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₃	
26	6,7	+180	12	1,06	6,9	69	15	0,10	3	0	293	0	0,39
31	8,96	+107	0,02	0,01	178	11	0	2,7	5	0	412	52	0,67

скважинах северной окраины Иркутска. В конкретном случае раздельный водоупорный (низкопроницаемый) слой едва достигает 5 м, но этого достаточно, чтобы не происходило межпластового водообмена. Смена глеевых вод на содовые происходит контрастно, подзона смешения практически отсутствует. Такая сближенность двух гидрогеохимических подзон присуща отдельным участкам. В общем случае мощность раздельного слоя варьирует в диапазоне 15-25 м, в большинстве своем она проницаема, на что указывает присутствие вод смешанного химического состава. При нарушенном режиме следует ожидать усиление межпластового водообмена, направленность которого регулируется возмущением водоносного комплекса и напорного горизонта. Эта возможность фактически подтверждается данными результатов детальной разведки Ушаковского месторождения пресных подземных вод по рассмотренным участкам ранее: участке Толстомысовского водозабора и второй в 2,5 км на левобережной пойме р. Ушаковки. На рис. 5-5 и 5-6 продемонстрированы основные данные опытно-фильтрационных работ и положение интервалов водопритока (горизонтального движения подземных вод). В районе размещения Толстомысовского водозабора (куст 1) водоносный комплекс вскрыт на глубине 30 м и имеет 20 м эффективной мощности. Проведенные ОФР в течение 50 суток происходило при неустановившемся режиме, а восстановление уровня произошло по истечении 60 суток, т.е. динамический режим типичен для безнапорного водоносного комплекса. Следует подчеркнуть важную особенность: пробно-эксплуатационная откачка производилась одновременно из скважин, расположенных в вершинах равно-

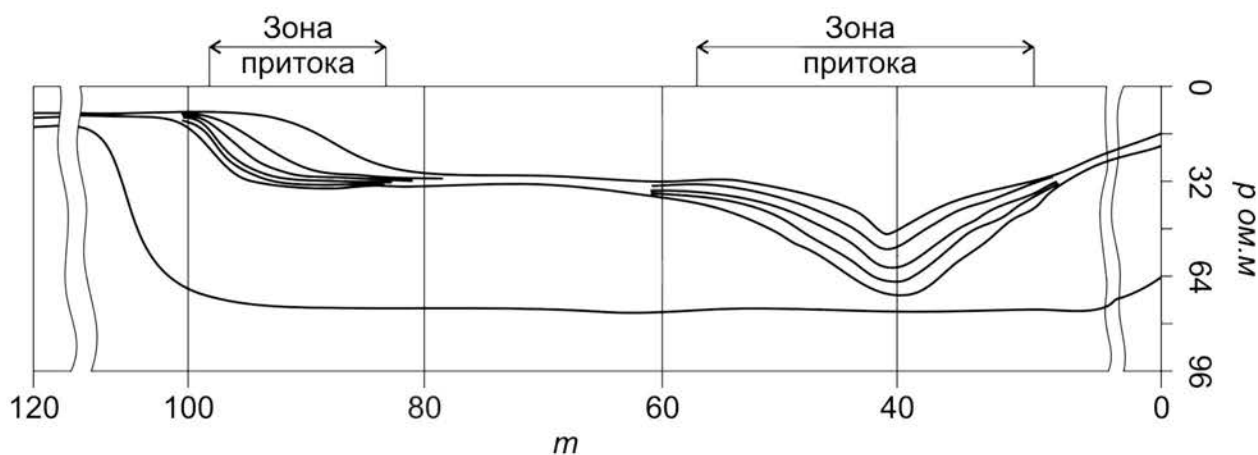


Рис. 5-6. Результаты резистивиметрового каротажа по скв. 7 куста I (Толстомысовского водозабора)

бедренного треугольника со стороной 200 м, в центре депрессионной воронки пьезометрический уровень снизился на 1,8 м при «мгновенной» стабилизации при откачке и относительно быстрым восстановлением. В центре треугольника зеркало грунтовых вод снизилось на 1,4 м. Все это свидетельствует о наличии межпластового перетока при нарушении естественного режима. Следовательно, при эксплуатации напорного горизонта в балансе водопритока принимает участие и водоносный комплекс, хотя мощность разделительного слоя сравнительно велика – примерно 2,5 м. Такое межпластовое взаимодействие можно существенно усилить, обеспечив прямой доступ глеевых вод к содовым. Для этого предлагается способ совместной эксплуатации двух этажно расположенных горизонта с забором воды из нижнего (рис. 5-7).

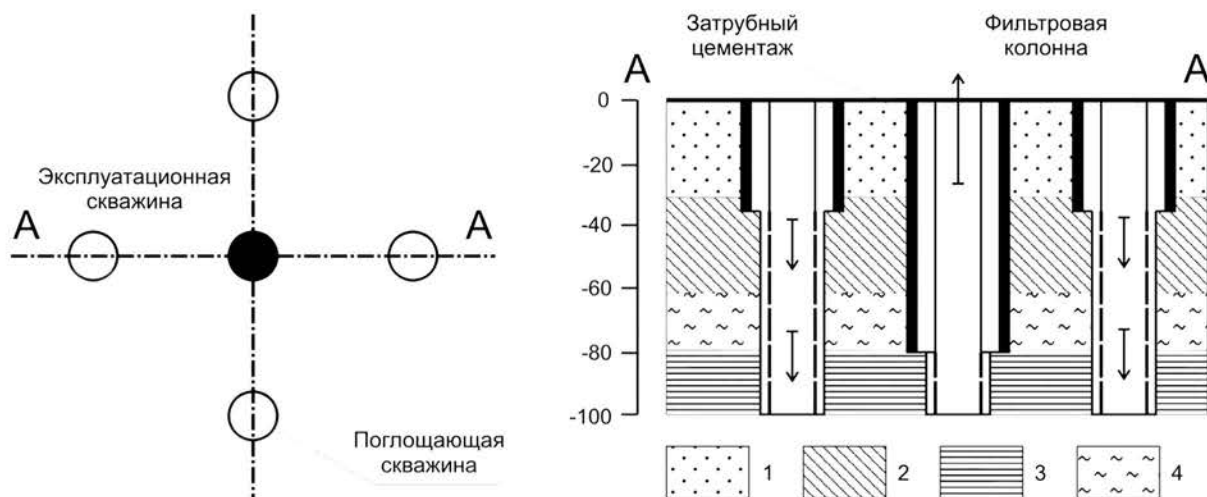


Рис. 5-7. Принципиальная схема водозабора с обезжелезиванием и демангацией подземных вод в пластовых условиях на Ушаковском месторождении
1 – зона аэрации; 2 – безнапорный водоносный комплекс; 3 – напорный водоносный комплекс; 4 – разделительный слой низкой проницаемости

Откачка воды из напорного горизонта в условиях искусственного объединения обоих пластов приведет к изменению гидрогеохимической обстановки.

новки. Железистые и марганцевосодержащие воды на щелочном барьере освобождаются от Fe и Mn в виде гидрооксидов (по крайней мере до уровня ниже ПДК_В). Воды приобретает жесткость, близкую к оптимальной (4 мг-экв/л) и обогащается фтором, что чрезвычайно важно при остром дефиците этого элемента во всех используемых в настоящее время водоисточниках.

Если предлагаемый способ реабилитации Ушаковского месторождения с использованием схемы пластового кондиционирования окажется практически осуществимым, то город получит источник водоснабжения, обладающий надежной естественной защищенностью с оптимальным потребительским качеством. Для реабилитации Ушаковского месторождения необходим минимум гидрогеологических работ, показывающих целесообразность подтверждения кондиционных эксплуатационных запасов. Ранее утвержденные запасы ограничивались сроком в 25 лет, т.е. до 1997 г. включительно. За прошедшие годы ситуация в зоне санитарного отчуждения водозабора изменилась, и для подземных вод не в лучшую сторону. Своевременное выполнение изложенного по результатам выполненных исследований позволит сделать предварительный корректирующий подсчет эксплуатационных запасов для иной конфигурации водозабора, образованию необходимой зоны санитарной охраны. Подтверждение принципиальной возможности пластового кондиционирования подземных вод послужит основанием полной реабилитации Ушаковского месторождения.

Иркутское техногенное месторождение подземных вод находится в береговой полосе Иркутского водохранилища и протягивается линейно от юго-восточной окраины г. Иркутска. Как и Ушаковское месторождение, оно было обнаружено во время гидрогеологической съемки (в 1962 г.) при осуществлении дополнительных работ по основному проекту. Месторождение характеризуется техногенным происхождением, поскольку до заполнения водохранилища Иркутской ГЭС его не существовало. После образования акватории ранее практически полностью сдренированные гравийно-галечниковые средневерхнечетвертичные отложения третьей надпойменной террасы на правобережье водохранилища оказались обводненными. Поскольку подпорный уровень водохранилища был на 10-14 м выше кровли водоносного пласта, а сами галечники перекрывались мощным делювиальным покровом, состоящим преимущественно из тяжелых суглинков, то между плотиной ГЭС и пос. Патроны сформировался напорный водоносный горизонт (рис. 5-8). Контур питания этого ленточного горизонта находился под уровнем водохранилища, а крутая бровка террасы отстояла от уреза акватории на 200-400 м. Водоносный горизонт-полоса имеет значительную протяженность, глубоко вдающимися падами он территориально разделен на четыре участка: Солнечный (Иркутский №1), Молодежный (Иркутский №2), Лисихинский (Иркутский №3) и Патроновский (Иркутский №4).

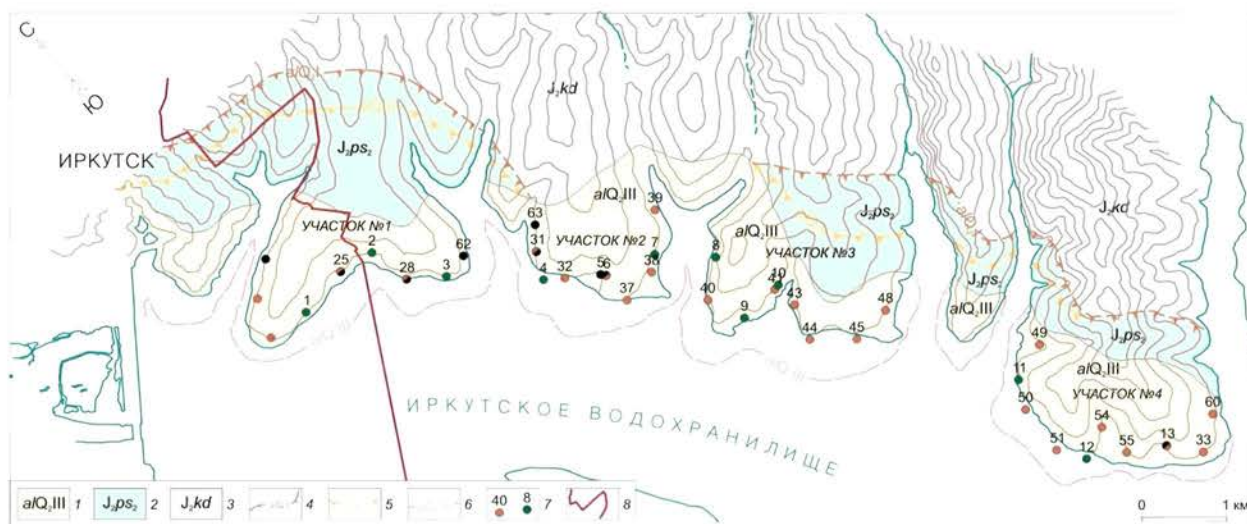


Рис. 5-8. Схема Иркутского месторождения пресных подземных вод
 1 – водоносный горизонт третьей надпойменной террасы; 2 – водоносный горизонт присаянской подсветы юры; 3 – непостоянный водоносный горизонт кудинской свиты юры; 4 – контур водоупорных отложений пятой террасы; 5 – контур водоупорных отложений четвертой террасы; 6 – контур затопленных отложений третьей террасы; 7 – скважины месторождения; 8 – граница города Иркутска

Поисковые работы на месторождении начинались с проверки предположения о значимой перспективности водоносного горизонта, когда в 1963 г. на каждом из участков ручным ударным способом было пройдено по одной скважине с последующей опытной откачкой. Съёмочная стадия подтвердила перспективность водоносного горизонта также и в качественном отношении: минерализация воды приблизилась к оптимальной (300-400 мг/л), по химическому составу она была гидрокарбонатной магниево-кальциевой, бактериологически здоровой и со стабильной температурой в 3,5-4,0 °С. Нужно отметить, что по этим четырем важнейшим показателям подземные воды выгодно отличаются от водохранилища. Единственным недостатком на стадии поисков можно отметить техническую сторону выполнения работ, т.к. фильтровая часть скважин имела очень низкую скважность в 2-3% вместо стандарта в 25%. Возникшие в связи с этим значительные гидравлические сопротивления фактически занизили реально существующие в пластовых условиях гидрогеологические параметры (табл. 5-9).

Выделенные при съёмке месторождения четыре перспективных участка были детально разведаны с 1969 по 1975 гг. Гининым В.В. и Лумповым И.А. В процессе разведочных работ пройдены 64 скважины, проходка которых осуществлялась ударным способом с опережающей обсадкой. Обсадная труба одновременно служила фильтровой колонной. Судя по отчетным материалам, техническое исполнение фильтровой части скважин было на прежнем уровне, и необходимые 25% скважности не были реализованы снова. Тем не менее, большой объем работ, выполненный в этот период, дал возможность получить детальное представление о морфологических особенностях водоносного горизонта, перекрывающей его толщи делювиальных су-

Таблица 5-9

Гидрогеологические параметры рабочего водоносного горизонта Иркутского месторождения [по мат. Шенькман Б.М. (2008 г.) с изм.]

Участок	Скважина	Глубина скважины, м	Мощность водоносного горизонта, м	Напор над кровлей пласта, м	Дебит, л/с	Понижение, м	Удельный дебит, л/с	Коэффициент фильтрации, м/сут	Расстояние от бровки террасы, км
I	A-35	21	7,10	14	18,0	0,65	>20	383	1,0
II	A-33	22	6,60	13	5,30	2,05	2,6	38	0,8
III	A-32	21	5,40	12	17,8	1,90	9,4	189	1,0
IV	A-34	20	7,30	11	18,0	1,35	13,4	203	0,8

глинков и уступе третьей надпойменной террасы (контур питания горизонта). Установлена была ширина водоносного горизонта, которая варьирует от 0,9 до 2,6 км. Обозначен крутой подводный уступ террасы, достигающий 25 м (рис. 5-9), при этом валунно-галечниковый слой обнажен от кровли суглинков до цокольной поверхности коренных пород. Ширина затопленной части террасы изменяется от 0,2 до 1,2 км. Мощность водовмещающего слоя достигает 10,5 м, постепенно уменьшаясь в сторону тыльного шва террасы. Глубина залегания подземных вод по скважинам составляла от 9 до 25 м с

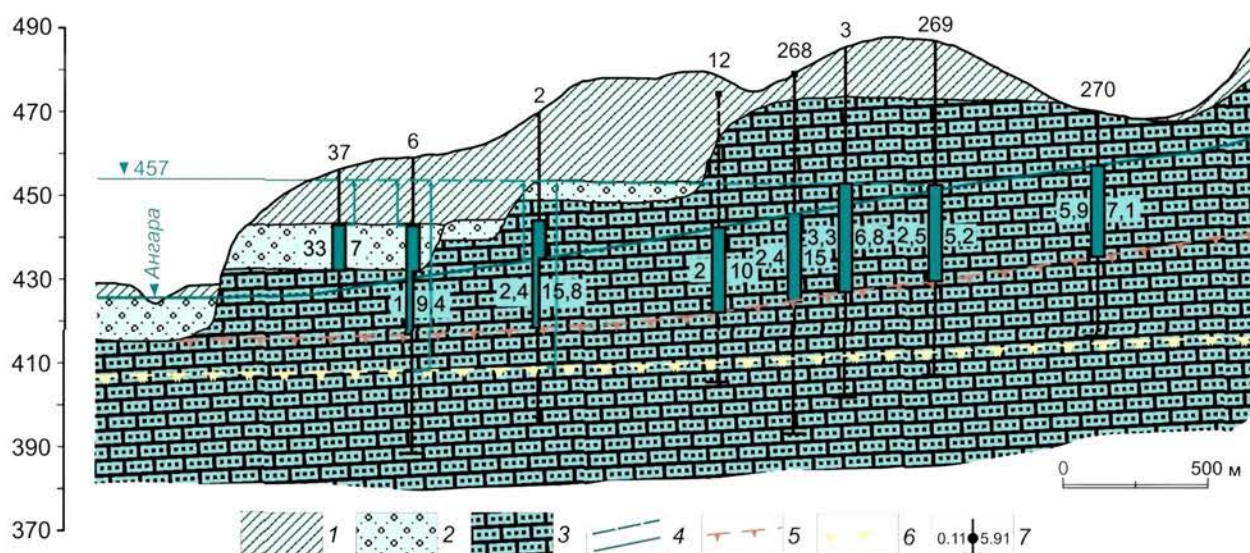


Рис. 5-9. Схематический гидрогеологический разрез II участка Иркутского месторождения подземных вод

1 - суглинки; 2 - гравийно-галечниковые отложения; 3 - песчаники, алевролиты; 4 - уровень грунтовых вод и уровень подпорного горизонта; 5 - подошва грунтового водоносного горизонта; 6 - кровля напорного водоносного горизонта; 7 – скважина, сверху номер, слева дебит (л/с), справа понижение (м)

напором над кровлей пласта от 10 до 14,7 м. Была зафиксирована важная особенность – при длительных и высокопроизводительных откачках на де-

тальной стадии разведки режим снижения уровня соответствовал условию неограниченного пласта, отсутствовало дополнительное гидравлическое сопротивление, ухудшающее условия водопритока к выработкам. Опытные работы подтвердили чрезвычайно высокую водообильность горизонта, а также его пространственную неоднородность (рис. 5-10). Видно, что имеется существенный разброс точек на графике, особенно с дебитом более 8 л/с. Они находятся на расстоянии до 450 м от контура питания водоносного горизонта. Одновременно удельный дебит большого числа скважин, расположенных на том же расстоянии, ниже 4 л/с. После удаления выработок на 600 и более метров от береговой полосы этот параметр становится менее 2 л/с.

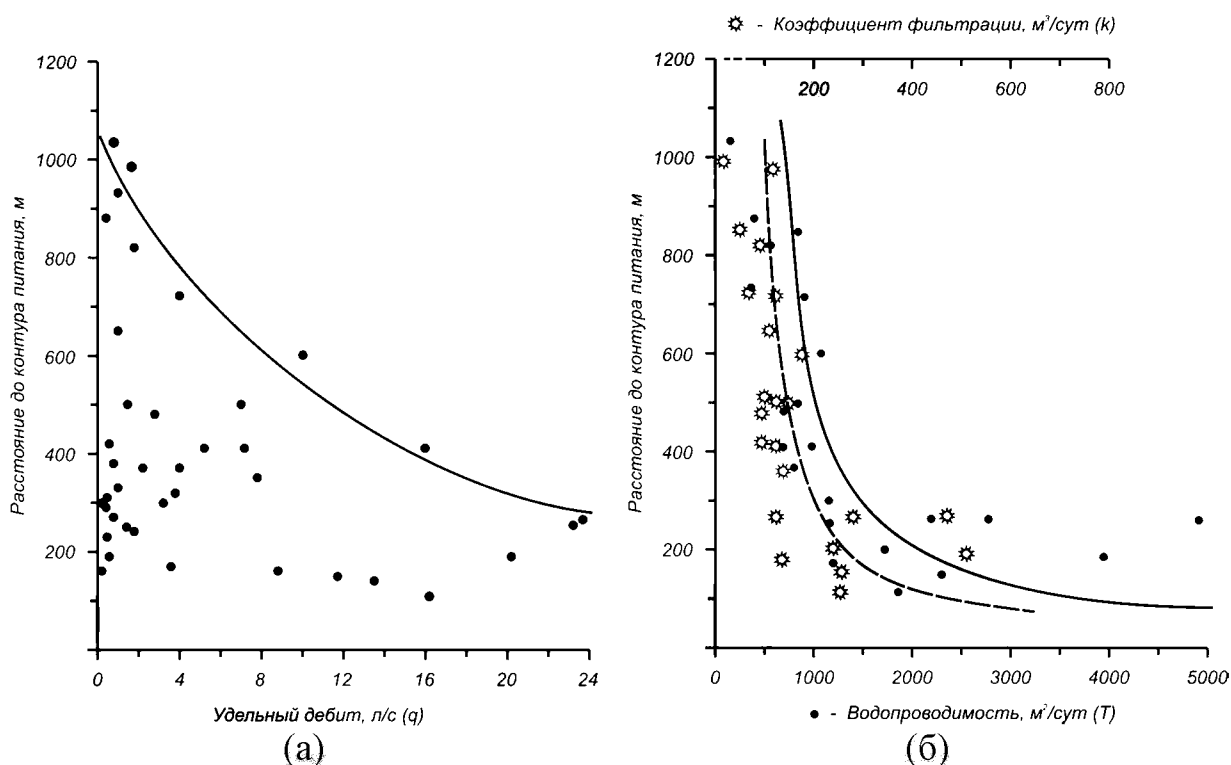


Рис. 5-10. Изменение величины удельного дебита (а), коэфф. фильтрации и водопроводимости (б) в зависимости от расстояния до контура питания

Фактически по направлению к тылу террасы с уменьшением мощности валунно-галечниковых отложений происходит увеличение их плотности, из-за чего при бурении разведочных скважин по мере приближения к тылу террасы длина рейса проходки уменьшилась до 0,1 м. В гранулометрическом составе валунно-галечниковых отложений при этом резко возрастает содержание мелких и тонкодисперсных фракций в заполнителе до 18-19,5%. В сочетании с шириной террасы это привело к резкому снижению водообильности даже в том случае, когда скважина находилась на малом расстоянии от контура питания. Данная закономерность была установлена еще на стадии съемочных работ и подтверждена при дальнейших поисках, завершивших гидрогеологическое исследование месторождения.

Результаты исследований позволяют заключить, что целевой горизонт получает свое основное питание с водохранилища как границы постоянного

напора, с тыла террасы по границе постоянного расхода питание наоборот минимальное. Скважины, расположенные на участках с максимальной шириной террасы и с минимальным расстоянием до контура питания, эффективнее на отдачу (табл. 5-10). Это вполне понятно, так как наибольшие напо-

Таблица 5-10

Характеристика водоносного горизонта в прибрежной зоне при ее максимальной ширине по скважинам опытных участков

Скважина	Расстояние от бровки террасы, м	Мощность водоносного горизонта, м	Статический уровень, м	Напор над поверхностью, м	Дебит, л/с	Понижение, м	Удельный дебит, л/с	Коэффициент фильтрации, м/сут	Водопроницаемость, м ² /сут
11	150	9,1	7,05	3,4	16	1,35	11,8	254	2290
22	250	9,3	4,4	8,6	35,1	3,9	9	122	1150
25	610	6,2	4,1	11,9	20,5	2,05	10	210	1300
28	420	7,1	2,74	10,3	24	1,49	16	329	2370
31	260	8,1	4,75	9,25	48,8	3,26	15	405	3240
37	350	8,6	3,05	10,5	33,3	6,9	4,8	377	3240
40	140	8,1	3,7	6,3	17,6	1,3	13,5	220	1760
55	120	7,3	1,55	5,1	21	1,3	16,2	289	2110

ры над кровлей пласта, мощность водоносного горизонта и коэффициент фильтрации водовмещающих пород прослеживаются в узкой полосе, примыкающей к контуру питания. Затопленная бровка третьей надпойменной террасы с аномальными величинами гидрогеологических параметров в ширину не превышает 350 м, и в ее границах коэффициент фильтрации изменяется от 140 до 650 м/сут, а водопроницаемость от 900 до 4900 м²/сут.

Эксплуатационные запасы Иркутского месторождения оценивали по четырем участкам, для чего были сооружены кусты скважин и по ним проведены групповые откачки эрлифтом. По результатам разведки произведен расчет, по которому в авторском варианте запасы в тыс. м³/сут составили 42,5, 33,1, 22,1 и 51,9 тыс. м³/сут по участкам соответственно. Однако к проектированию водозаборных сооружений утверждены были только запасы по категории Б в увеличенном количестве общей суммой 90,6 тыс. м³/сут. Исключение категории С произошло по причине низкого качества опытно-фильтрационных работ, обусловленных техническим состоянием опытных скважин, их исполнения при бурении и несоответствия требовавшегося оборудованию. По имеющейся отчетной информации в общем случае при установке фильтровой колонны последняя забивалась в грунт вместо свободной посадки в предварительно обсаженную глухой обсадной трубой выработку. При таком вдавливании фильтровой колонны происходит частичная закупорка перфорации, заметно снижающая и без того малую скважность, кото-

рая изначально не превышала 2-3% вместо необходимых 25%. Указанные обстоятельства существенно влияют на итог проведенных опытно-фильтрационных работ, в ряде случаев существенно искажают пластовые условия. Подтверждением этому служит отсутствие линейной связи между дебитом и понижением при откачке, а также появление гидравлического скачка, почти равного по величине понижению (табл. 5-11). Гидравлический

Таблица 5-11

Результаты опытных работ на детальной стадии разведки

Куст	Дебит, л/с	Понижение в центральной скважине, м	Понижение в затрубной скважине, м	Гидравлический скачок, м
8	24	1,49	1,36	0,13
221	35,1	6,35	3,65	2,7
222	25	2,85	2,32	0,53
25	20,4	2,05	1,65	0,4
28	32,6	8,62	2,4	6,22
6	16,5	5,06	4,85	0,21
41	10,5	5,93	5,12	0,81
51	48,4	2,1	0,75	1,15

скачок означает собой наличие избыточного гидравлического сопротивления, при котором в рабочей скважине быстро возрастают потери напора. Помимо непропорционального дебиту снижения уровня также резко уменьшается удельная производительность, что прослеживается по откачкам, выполненным на две ступени понижения уровня (табл. 5-12). Уменьшение удельного

Таблица 5-12

Производительность скважин при разных понижениях уровня воды

Скважина	Дебит, л/с		Понижение, м		Удельный дебит, л/с		Снижение удельного дебита, %
	I ст	II ст	I ст	II ст	I ст	II ст	
6	18,3	24,5	5,16	7,05	3,55	3,48	2,0
22	15,6	35,1	1,75	5,90	8,91	5,95	33,2
28	24,0	17,3	1,49	8,80	16,0	1,97	87,7
31	20,5	44,4	0,95	3,26	20,0	13,6	32,0
37	13,0	33,3	1,68	6,90	7,74	4,83	37,6

дебита в ходе опытов достигает 88%. Можно предположить, что при заданных нагрузках на скважины расчетного водозабора удельная производительность эксплуатационных скважин претерпит дальнейшее существенное снижение. Также в некоторых скважинах происходило уменьшение дебита с одновременным увеличением понижения. Данный негативный эффект связан с конфигурацией перфорации фильтровой части скважин, несогласованной с гранулометрическим составом водовмещающих пород и размерами фракций.

Частицы грунта не проходят в отверстия фильтра, а заклиниваются в них, тем самым уменьшая общую скважность и создавая наблюдаемый эффект.

Финальная расчетная схема водозабора на месторождении представляла собой линейный ряд скважин длиной около 15 км с пятью докерами через заливы с последующим вводом коллектора в магистральный водовод для потребления. Выбранная схема водозабора оказалась неприемлемой с технико-экономической точки зрения и стала в дальнейшем неконкурентной относительно поверхностного водозабора с водохранилища. Так чрезвычайно мощное месторождение подземных вод, не требующих на тот период никакой водоподготовки, было в буквальном смысле заброшено. Срок его нахождения на государственном балансе истек в 2000 г., а позднее эксплуатационные запасы были сняты с учета. Нераспределенные земельные участки в границах месторождения за прошедший период времени активно осваивались, застраивались садоводствами и коттеджными поселками. Единственный максимально приближенный альтернативный подземный источник централизованного водоснабжения города сейчас имеет формальный статус, а территория размещения водозабора продолжают использоваться нарастающими темпами.

Между тем водоснабжение города осуществляется пока из поверхностного источника, качество воды которого от года к году продолжает только ухудшаться. Защищенные и более минерализованные подземные воды, доступные в черте города и близлежащих окрестностях, являются более чем актуальными в настоящее время. При рассмотрении Иркутского техногенного месторождения пресных подземных вод отмечалась его неконкурентоспособность относительно поверхностного водозабора, но это свойство определяется исключительно неудачной схемой исполнения самого водозабора. Чтобы получить заявленную производительность, вовсе не следует растягивать водозабор на 10-15 км. Реальные гидрогеологические условия позволяют сооружение вполне компактного водозабора, что может реабилитировать техногенное месторождение в его уже современных границах.

Первый участок месторождения выпадает из рассмотрения, поскольку практически целиком к настоящему времени оказался застроенным. Второй, третий и четвертый участки при мощности водоносного горизонта в 6,5-14 м обладают значительными эксплуатационными запасами, которые по вышеописанным причинам при разведочных работах не были учтены. Качественное состояние подземных вод на момент завершения разведочных работ соответствовало питьевому стандарту по всем показателям, но за прошедшие годы эколого-гидрогеологические условия на локальных участках могли измениться. Происходит непрерывный процесс переработки берегов водохранилища, вносит деструктивную составляющую освоение застройкой прилегающей территории. Поэтому на участках в местах расположения ранее пробуренных и опробованных скважин, провести бурение по одной корректирующей выработке глубиной 20-25 м под диаметр фильтровой колонны в 279 мм. Места расположения корректирующих скважин целесообразнее всего приурочить к наикратчайшим расстояниям до ранее существовавших. В кон-

струкции фильтра предусмотреть его длину, равную мощности водоносного горизонта, а также закрепление отстойника в породах коренной основы. Перфорация фильтровой части скважностью не менее 25% выполняется круглыми отверстиями расчетного диаметра, определенными по результатам ситуативного анализа проведенных ранее выполненных работ или сделанного в процессе реализации корректировочных исследований. Последующим выполняется длительная в 30 суток опытная откачка с максимально возможным дебитом. Работы проводятся с таким расчетом, чтобы их результаты могли быть использованы для расчета локальных многолучевых водозаборов высокой производительности. Оцененные запасы могут быть значительно большими, чем утвержденные в ГКЗ в 80^е гг. при прошлой оценке.

Важным шагом в освоении месторождения (его участков) будет расчет поясов зоны санитарной охраны и их утверждение, закрепляющим необходимый статус использования земель. Для этой цели необходимы актуальные сведения о потенциальных источниках загрязнения подземных вод, получить которые можно будет эколого-гидрогеологическим обследованием хозяйственно освоенной территории, примыкающей к месторождению. Объектами обследования являются естественные и искусственные водопункты (родники, колодцы, скважины индивидуального и коллективного пользования), а также выгребы в коттеджных поселках и садоводческих кооперативах. Полученная информация позволит скорректировать расчетные границы поясов в существующих реалиях уже освоенных территорий.

Для подтверждения эксплуатационных запасов и анализа качественного состояния подземных вод, а также в связи с изменением статуса территории, на которой размещается месторождение, необходим минимальный объем гидрогеологических исследований. При получении позитивных результатов возможно будет приступить к проектированию водозабора по иной, более эффективной схеме. Вместо линейного ряда эксплуатационных скважин малого диаметра следует в полосе аномальной водопроницаемости выполнить шахтный колодец большого диаметра с системой горизонтальных скважин, проходимых микротуннельным методом (многолучевой водозабор). Шахтный водозабор с ближайшего к городу участка даже в оценочном приближении может обеспечить крупную потребность в воде, удовлетворив при этом всем требованиям, предъявляемым к подземным источникам централизованного водоснабжения.

5.4. Организация источников водоснабжения и аспекты охраны подземных вод

Современной проблемой Иркутской агломерации является неудовлетворительное водоснабжение питьевой водой, как бы это ни было парадоксально для города в одном из наиболее обеспеченных водными ресурсами регионов страны. Ранее в главах были отмечены условия существующего городского водоснабжения, а также предлагалось улучшить и повысить надежность имеющейся водоснабжения города за счет её хотя бы частичной пере-

ориентации на подземные воды. Видится уместным дополнить информацией обозначенную проблему и осветить аспекты организации источников водоснабжения далее.

В настоящее время доля использования подземных вод в городском хозяйственно-питьевом водоснабжении в среднем составляет 3,5%. Эта цифра увеличивается, если учитывать источники в виде локальных водозаборов подземных вод, созданных и ориентированных на частное водоснабжение. Городской же источник забирает воду из Иркутского водохранилища, при этом имея вполне обоснованные резервы в виде питьевых подземных вод в количествах, обеспечивающих современную и перспективную потребность в воде. Но среди разведанных запасов три четверти от общего количества составляют незащищенные и привлекаемые из поверхностных вод ресурсы. Водозаборы за счет этих подземных вод не организованы, и на период возможных чрезвычайных ситуаций резервный источник для города отсутствует полностью. Рассматриваемые в данной работе Иркутское и Ушаковское месторождения по сей день остаются не освоенными, а из-за длительного времени пребывания не востребованными их участки выходят из строя - застраиваются зоны санитарной охраны, изменяются эколого-гидрогеологические условия формирования запасов и возникают прочие сложности возможной эксплуатации.

Причины неудовлетворительного освоения месторождений видятся одними и те же - удаленность от потребителей при скудных источниках финансирования для прокладки водоводов и магистралей, а также изменение в городских планах по части использования "простаивающего" земельного фонда. К примеру, выделенная ранее в 60^х гг. площадь только по первому участку Иркутского техногенного месторождения до 2000^х гг. была уже поджата различной застройкой, а оставаясь желанным куском для очередной строительной компании, позднее вовсе исчерпала свободное место (рис. 5-11). Эколо-



Рис. 5-11. Фрагмент схемы использования территории города Иркутска
 1 – правобережный участок месторождения "Ушаковское"; 2 – левобережный участок месторождения "Ушаковское"; 3 – участки "Иркутского" техногенного месторождения; 4 – действующий поверхностный городской водозабор

гическая обстановка из-за близости основного потребителя, а также застройка и загрязнение зон санитарной охраны не позволяют освоить месторождения в сей же момент. Для решения обозначенных проблем городского водоснабжения выполнялся ряд работ по инвентаризации месторождений питьевых и технических подземных вод на рассматриваемой территории с учетом также небольших по количеству запасов подземных вод. Итогом стали разработанные на этой основе актуальные предложения по переоценке и списанию не востребуемых запасов подземных вод месторождений и перспективных участков.

Обработав актуальную эколого-гидрогеологическую информацию, стало понятнее, в какие места сосредоточить и направить поисково-оценочные работы по выявлению локализаций питьевых подземных вод, включая пригородную зону. Дальнейшая оценка и представление запасов подземных вод на государственную экспертизу с последующей постановкой их на государственный учет придаст таким участкам статус месторождений, что позволит предотвратить застройку и другое нецелевое использование упомянутой территории. Следующим шагом последует хозяйственное освоение подготовленных месторождений подземных вод с подключением их в системы работающих водопроводов города. Такое распределение ресурсов позволит городу регулировать баланс водопотребления, имея для маневра источники питьевого водоснабжения в разных округах. Видится, что это может быть определенным стимулом для развития пригородов, где прокладка водопроводов даст возможность осуществлять хозяйственную деятельность. Продолжение геологоразведочных работ на защищенные от поверхностного загрязнения подземные воды необходимо также в целях государственной стратегии на случай возникновения чрезвычайных ситуаций, что позволит создать и использовать резервные водозаборы с большой водоотдачей.

Необходимо отметить, что есть вполне определенные подвижки в решении вопроса водоснабжения города за счет подземных вод. Так в период с 2005 по 2009 гг. был выполнен ряд мероприятий, направленных на решение указанной проблемы. За счет средств областного бюджета по заданию главы администрации области Иркутским территориальным центром ГМГС была разработана «Программа гидрогеологических работ для водоснабжения населенных пунктов Иркутской области», где были намечены основные мероприятия по улучшению качества питьевых вод и повышению надежности систем водоснабжения наиболее проблемных территорий области. В рамках программы за счет средств федерального бюджета подразделениями ФГУНПП «Иркутскгеофизика» выполнены поисково-оценочные работы для обеспечения водоснабжения городов и населенных пунктов Иркутской области. За счет средств недропользователей проведена оценка запасов подземных вод на 24 действующих групповых и одиночных водозаборах подземных вод, часть из которых находится в черте г. Иркутска и снабжает водой производственные предприятия. Продолжение этих работ намечалось областной государственной целевой программой «Улучшение обеспечения населения Иркутской области питьевой водой на 2007–2010 годы» и программой Иркут-

ской области «Чистая вода» на 2009–2011 годы, а также другими целевыми программами Министерства природных ресурсов Иркутской области до 2017 г. Однако основные мероприятия этих программ сводятся к решению текущих проблем коммунального характера - замена городских водопроводов, их ремонт и т.п., а также видимое авторами программы внедрение на водозаборах технологий по очистке воды до питьевого качества. Последнее запланированное действие, на наш взгляд, является менее рациональным из-за дороговизны и сложности эксплуатации, чем освоение известных крупных месторождений и поиск новых участков с качественной водой. Изложенный материал в предыдущих главах данного диссертационного исследования дает вполне наглядное и технически исполнимое представление по вопросу водоснабжения города.

Если с организацией подземных источников водоснабжения для г. Иркутска определенные решения выработаны, уместным видится рассмотреть проблему контроля качественной и количественной составляющей процесса водоотбора. Необходимость этого исходит из анализа имеющейся статистической информации органов Роснедр и Министерства природных ресурсов Иркутской области по эксплуатирующимся частным водозаборам, отчетность по которым сдается самими недропользователями за годовой цикл пользования лицензионным участком недр. Для большинства таких действующих водозаборов подземных вод в городской черте недоработкой и существенным просчетом выявляется отсутствие системы контроля качества отбираемой воды, постоянной фиксации количества отбираемой воды, а также должных наблюдений за динамическим и статическим уровнем в скважинах. Контроль количества отбираемой воды в большинстве случаев ведется косвенными методами (учетом времени работы насосов, количества использования воды накопительных емкостей и т.п.). За динамическим уровнем не наблюдают на подавляющем числе водозаборов, контроль качества на большинстве мелких водозаборов также не проводится. Не соблюдаются ограничения хозяйственной деятельности в зонах санитарной охраны водозаборов, а на многих участках такие зоны вообще не организованы в надлежащем порядке. Анализ такой информации позволяет говорить о том, что нарушения являются систематическими, одинаковыми по сути, а само возникновение их истекает из полного игнорирования условий природопользования. Для владельца участка недр такие условия пользования вполне доступно изложены в лицензионном соглашении из приложения к лицензии на право пользования недрами, где отражены количественная и качественная составляющая процесса водоотбора.

Упомянем также тех водопользователей, которые по современному законодательству Российской Федерации пользуются подземными источниками не вполне законно. Если владельцы лицензии на право пользования участком недр с целью добычи подземных вод для питьевого и хозяйственного водоснабжения обременены необходимостью надлежащего использования (т.е. имеют определенные рамки и должны работать по установленным правилам), то пользователи недр без лицензионных соглашений с государ-

ством зачастую вообще пренебрегают даже элементарными правилами санитарной гигиены при добыче воды и обустройстве каптажных сооружений. Строительство скважин ими осуществляется без учета гидрогеологической составляющей, когда в погоне за выгодой принципиально не разделяются кондиционный горизонт и верховодка, исполнение и проходка выполняется сомнительными организациями без надзора профильных специалистов, а нецелевое использование недр с захоронением жидких отходов и закачкой отработанных технических вод производств в скважины приводит к загрязнению подземной гидросферы. Наличие таких соседей например для участка небольшого месторождения подземных вод однозначно приведет к резкому скачку минерализации и повышению канцерогенных компонентов для изначально питьевой воды и будет означать завершение добычи. Такой пример был приведён не случайно, ведь в окружении городской территории, разного рода предприятий, садоводств и частной застройки находятся целевые источники водоснабжения города, а также водосборные площади этих источников.

Появление новых точек техногенной активности в границах установленных, к примеру, для Иркутского или Ушаковского месторождения подземных вод привело к невозможности использовать часть выделенных участков, где возникла частная застройка и частично развилась сельскохозяйственная деятельность. Сопутствующим и неотъемлемым элементом частного проживания является реализация автономного водоснабжения, питьевого и технического. Эти нужды принято удовлетворять за счет организации водозабора подземных вод, которым в данном случае является скважина. Зачастую таких скважин даже на один земельный участок с домом для автономного проживания приходится не одна штука, а при условии плотной застройки их количество на небольшой территории составит несколько десятков, ведь формально для обустройства частного водозабора нет никаких преград. При этом возникают обстоятельства, когда при наличии водозаборной скважины нужно куда-то отводить использованную воду, и для этих целей возводится септик или выгребная яма. В дальнейшей эксплуатации при соблюдении всех норм на этапе строительства этих сооружений проблем с окружающей обстановкой возникать не должно, однако имеющиеся данные о состоянии подземной гидросферы позволяет говорить об имеющейся деградации природных условий. Часть причин этого уже упоминалась выше, начиная от момента некомпетентного обустройства водозаборных скважин и заканчивая пренебрежением к удалению хозяйственно-бытовых отходов.

Настоящая ситуация с использованием недр становится заметной не только исследователям. Так для снижения негативного воздействия хозяйственной деятельности на подземные воды Иркутским территориальным центром ГМГС при содействии органов Иркутскнедра и Росприроднадзора ранее проводился ряд специальных мероприятий на наиболее опасных по развивающейся техногенной обстановке участках. По имеющимся на тот момент времени гидрогеохимическим данным пестили участки производственных площадок по Ленинскому округу, где выполненные анализы проб

воды превышали по лабораторным данным предельно допустимые концентрации ряда элементов в несколько раз. Далее по рекомендациям ИТЦГМС на целом ряде площадок экологически опасных производств в описываемом районе были реконструированы локальные сети скважинного мониторинга. Под ревизию попали ОАО «Невская косметика», ОАО «Иркутскэнерго», ОАО «Иркутсктерминал», НПК «Иркут», ОАО «Байкалэнерго» и ряд других недропользователей. Все выполненные работы вне сомнений способствуют реализации правильного подхода к рациональному недропользованию, но все же в отношении только к крупным потребителям. Такие организации имеют относительно большие участки земли в долгосрочной аренде или собственности, владеют лицензиями на право пользования недрами, состоят на своеобразном учете и юридически зависимы от исполнения природоохранного законодательства. В случае затягивания или вовсе неисполнения, к примеру, некоторых пунктов из лицензионного соглашения к лицензии на право пользования недрами, органами Росприроднадзора им выдается предписание на исполнение взятых обязательств или взимается крупный денежный штраф. Иными словами, к юридическому лицу применяется реальное наказание, и избежать его очень непросто.

Частные или физические лица осуществляют свою коммерческую и некоммерческую деятельность с использованием подземных вод вполне открыто и часто не совсем законно, без какого-либо компетентного сопровождения, минуя всю последовательность геологических работ и этап регистрации в соответствующих органах Роснедр. Все это приводит к возникновению негативных обстоятельств, как уже было упомянуто выше по тексту, а по большому счету к постепенному нарастанию техногенной деградации подземной гидросферы. Впрочем, такое же заключение относится и к тем юридическим лицам и организациям, которые используют отбор подземных вод без выдаваемой на этот вид деятельности лицензии и специального гидрогеологического сопровождения производства работ. Вследствие этого возникают вполне определенные условия загрязнения подземных вод, сам механизм которых изучен и может быть представлен в виде своеобразного процесса проникновения поллютантов к водозаборным сооружениям. Часть веществ попадает в скважины, колодцы, каптажи и прочие сооружения напрямую, минуя стадию просачивания через горные породы. Другой процесс сопровождается выделением их же на поверхность земли рассредоточено, где попадая с атмосферными осадками в зону аэрации, инфильтруются далее через водонасыщенные грунты, часто вскрываясь пройденными скважинами. Такие механизмы ухудшения качества подземных вод определяет необходимость реорганизации подхода к обустройству источников.

Как видится, легче всего первично привести уже существующие водозаборные сооружения в должное состояние, тем более что все необходимые мероприятия для этого указаны в нормативных документах. Реализация их изначально входит в состав санитарных требований к первому поясу зоны санитарной охраны источника [70]. Достаточным решением будет создание бетонной опалубки на устье скважины, павильона над ней и примыкающей

бетонной отмостки вокруг для предотвращения поступления поверхностного стока в приустьевое пространство. Аналогичные мероприятия по бетонированию нужны на метлах расположения выгребных ям, септиков и прочих сооружений для накопления бытовых стоков. Здесь особенную важность имеет герметичность стенок, стыков железобетонных изделий, исполнения дна и других мест конструкций. Другой механизм рассредоточенного загрязнения требует определенных ограничений хозяйственной деятельности на поверхности земли, созданию реальных зон санитарной охраны и принятию соответствующих мер к их исполнению по отношению к владельцам земельных участков. Так для рассматриваемой частной застройки имеет первостепенное значение легализация водозаборных сооружений, что послужило бы мотивацией их владельцев к соблюдению правил пользования недрами в отношении подземных вод, своевременному контролю количества и качества отбираемой воды, а также позволило бы серьезнее организовать процесс мониторинга подземной гидросферы для природоохранных ведомств. В процессе легализации водозаборных сооружений так или иначе решилась бы проблема создания зон санитарной охраны источников подземных вод. Собственники будут иметь заинтересованность в выделении как минимум первого пояса строгой охраны, что в большинстве случаев помогает кардинально улучшить санитарную обстановку.

Отдельно отметим, что зона санитарной охраны должна быть на всех эксплуатируемых подземные воды водозаборах, вне зависимости от количества отбираемой воды и от его назначения и принадлежности. Первый пояс такой зоны выделяется повсеместно и в зависимости от защищенности водоносного горизонта варьирует размерами до 30 м в диаметре. Понятно, что такую территорию выделить в отдельное сосуществование и не использовать в хозяйственном отношении для собственника невозможно, особенно для уже существующих частных водозаборных скважин, но привести в порядок пространство вокруг каптажа и соблюдать санитарную обстановку вполне по силам любому хозяйству. Другие пояса зоны санитарной охраны – второй и третий – согласно нормативным документам должны также выделяться для всех водозаборов хозяйственно-питьевого назначения, однако на деле это явление имеет исключительно редкий характер, учитывая местные реалии окружающей территории в виде пригородной частной застройки и расположением хозяйственных и производственных площадок. Второй и третий пояса в размерах и положении на местности определяется расчетом, учитывающим основной вектор направления потока подземных вод, время распространения возможного загрязнения, а также количество отбираемой воды. В условиях освоенной территории такие границы поясов нередко перекрываются друг другом, захватывают части территорий других собственников, попадают на участки территорий с особым природоохранным статусом. Создание зоны санитарной охраны возлагает ответственность на собственника территории в части исполнения всех намеченных мероприятий, а также накладывает обременение и часто запрет на некоторые виды хозяйственной деятельности. Это, несомненно, является еще одним фактором, из-за которого

создание зоны санитарной охраны даже крупного водозабора оттягивается до самого последнего момента, вплоть до наложения штрафных санкций.

Обсуждая современный процесс использования подземных вод, не трудно заметить, что возникающая опасность загрязнения при этом и меры по предотвращению этой опасности не зависят от самих гидрогеологических условий и природной обстановки. Очень четко прослеживается человеческий фактор, вклад которого в природные условия вносит разрушающие изменения, имеет обособленный техногенный характер. Минимизировать потери и остановить техногенное изменение природной обстановки вполне возможно, начав реализовывать простые мероприятия рационального недропользования на существующих и действующих водозаборах подземных вод. Обследованию частной и промышленной застройки с выявлением водозаборных скважин последует их легализация, создание зон санитарной охраны, разработка конкретных рекомендаций по совершенствованию их эксплуатации и содержанию, ведению учета по водопользованию. Оборудование узлов учета на водозаборах с установкой счетчиков на воду, монтаж измерительных приспособлений для контроля уровней подземных вод, а также регулярный контроль качества отбираемых вод посредством анализа в лабораторных условиях будет означать должное исполнение правил пользования недрами их собственниками. Своевременное предоставление сведений в государственные органы о результатах ведения хозяйственной деятельности по водозаборам даст возможность вовремя отслеживать бездействующие и брошенные выработки, которые вне сомнения являются опасными для целевых водоносных горизонтов и должны быть ликвидированы в соответствии с существующими нормами закона и установленными правилами. Видимые перспективы от исполнения комплекса решений вполне достижимы, тем более что в этом напрямую заинтересованы различные стороны – от государственного контроля в лице Росприроднадзора и Роспотребнадзора до распорядителей Роснедр, администрации г. Иркутска, регионального центра мониторинга окружающей среды и некоторых других. Реализация даже части мероприятий из изложенных здесь аспектов охраны подземных вод позволит исправить в лучшую сторону существующее положение вопроса водоснабжения города Иркутска за счет подземных вод.

5.5. Геоинформационное обеспечение пользования подземными водными объектами

Современные возможности вычислительной техники позволяют значительно упростить использование геологической информации по всем видам работ в отрасли. Применительно к подземным водам обработка большого объема имеющейся гидрогеологической информации посредством специализированного программного обеспечения (ПО) делает ее доступной для эффективного дальнейшего использования. Реализация геоинформационного метода в данной работе виделась весьма востребованным, учитывая нерешенный вопрос оптимизации сбора, хранения, актуализации и представления

фактического материала в свете интереса к подземным водам как источнику питьевого водоснабжения. Полученная информационная обеспеченность после обработки фактуры стала вполне достаточной для оценки ресурсной составляющей подземных вод и их качественного состава в границах Иркутска и близлежащих пригородах.

Изначально для города планировалась разработка геоинформационной модели как для некоторого пилотного района с последующей реализацией справочно-аналитической системы для целей мониторинга подземных вод на обозначенной территории. Основной целью такой работы являлось повышение эффективности изучения пресных подземных вод и их использования для водоснабжения населения и производственных предприятий. Сама эффективность применения геоинформационной модели для этих целей определяется возможностью интеграции, оперативного анализа и комплексной интерпретацией разнотипных данных, обоснованием прогнозов, моделированием техногенных воздействий на геологическую среду и планированием перспективных проектных решений для частного применения. Применять активно геоинформационные системы (ГИС) подталкивает всеобщий процесс оптимизации управления территориями и рациональным использованием природных ресурсов, курс на который давно был задан управляющими профильными министерствами РФ. Отметить нужно также повышенный интерес к внедрению геоинформационных технологий в частные геологические компании и управленческие структуры, который обусловлен удобным и интуитивно понятным интерфейсом почти каждой реализованной программы, в том числе и для изначально неподготовленного пользователя к такой работе со специализированным программным обеспечением. Оперативное объединение разнородной информации на основе координатной привязки в сочетании с богатым арсеналом средств обработки, доступной для разработчика, послужило отправной точкой в создании ГИС по подземным водам для обозначенной территории города Иркутска с его окрестностями.

Создание ГИС при оценке современного состояния подземной гидросферы г. Иркутска базировалось на принципах необходимой интеграции в информационную систему всей совокупности имеющихся данных о гидрогеологических условиях рассматриваемого объекта, нормативно-технических требований и методики проведения работ. ГИС создавалась из нескольких взаимосвязанных функциональных частей, каждая из которых выполняет функции хранения, обработки и выдачи гидрогеологической информации в рамках решения задач или операций самой системы. Выделение функциональных частей объясняется необходимостью использования разнородной фактической информации, требующей различных методов её обработки и систематизации. В ГИС реализовано две взаимосвязанные функциональные части – база гидрогеологических данных и база картографических данных. Функционирование этих элементов основано на оболочке в виде специализированного программного комплекса (ПК), а графическая визуализация выходных данных осуществлена посредством привязки этих баз данных к известному пакету программного обеспечения ArcGIS компании ESRI (США).

База гидрогеологических данных представляет собой систематизированную совокупность данных в цифровом виде, которая создавалась и в дальнейшей работе обрабатывается с помощью подходящего по своему функционалу ПО. Основным структурным элементом базы данных является таблица, а на основе таблиц данных или только с учетом их подстраивается картографический материал из картографической базы данных (тематический слой). Системой управления базой данных служит ПК Microsoft Access, дающий возможность вводить данные, хранить, удалять, редактировать, преобразовать, представлять готовые данные и экспортировать. Для создания базы данных первоначальная или исходная гидрогеологическая информация отбиралась из условных обработанных и необработанных источников. Необработанная информация доступна была после проведения наблюдений и опробований, выполнения замеров глубин уровня подземных вод, температуры, дебита и других источников, была зафиксирована в буровых журналах, журналах откачек и полевых книжках. Обработанная информация была преобразована в удобный для анализа вид под типом таблиц, схем, графиков из табличных и графических приложений к отчетам. Основным объемом накопленной такой геологической информации был доступен в архивах различного рода организаций и геологических фондах. Созданная на основе такой информации база данных в Access имеет разграничение по виду и типам информации, объектов данных по их свойствам и классификаторам. В качестве объектов внесены скважины, родники, колодцы, дрена, гидросты и др., по каждому из которых формируется паспортная информация. Она в базе данных имеет свой вид и определенные атрибуты - тип объекта, местоположение и координаты, данные бурения, условно-постоянную абсолютную отметку, приуроченность к водоносному горизонту, назначение, техническое состояние. К этой информации добавляются и увязываются сведения о литологическом разрезе и составе пород, результатах гидрогеологического обследования, химического анализа и гидродинамической характеристики. Отдельно фиксируется изменение основных показателей в базе данных, а хронология этих изменений сохраняется в отдельном файле. После ввода обработанная информация переходит в базу данных в виде отсортированных таблиц и средствами Access закрепляется в удобном виде (рис. 5-12).

База картографических данных изначально формировалась посредством оцифровки топографической основы масштаба 1 к 25000 м в границах рассматриваемого объекта, изданных карт геологической основы района и специализированных карт гидрогеологической тематики. К оцифрованным моделям карт импортировалась информационные объекты с их характеристиками из гидрогеологической базы данных. Оцифровка исходных бумажных или электронных растровых (предварительно отсканированных) носителей выполнялась программными средствами ПО Easy Trace PRO, после чего создавался тематический слой картографической базы, а также импортировались объекты из гидрогеологической базы, если это было необходимо для данного слоя. Далее точечный тематический слой с координатами пунктов (точек) наблюдений сохранялись в виде файлов формата dbf и shp для ПО

№ по г	№ по первоисточнику	Привязка водопункта	Год работ	Глубина	Абсцисса	Литология	Index	Мощ.
1	330/1	Цех 14 завода Куйбышев	1963	90	430	1. Почва	Q	
2	2192/1049	Переулоч Лесопильный	1968	74	440	1. почва 2. Песчаник, алевролит 3. Песчаник 4. Песчаник, алевролит 5. Песчаник, алевролит	J2ps alQ4 J2ps	
3	2640/1624(2)	Территория завода ЖБИ,	1972	120	440	1. почва, суглинок 2. Валунно-галечниковые 3. Переслаивание песчаника 4. Песчаник трещиноватый	alQ3-4 J2ps	
4	2496/1468	восточная часть Ирк, гор	1971	85	490	1. почва, суглинок 2. Глина 3. Галечник с примесью глин 4. Конгломерат с прослойками 5. Песчаник с прпослойками 6. Песчаник трещиноватый	alQ2-3 J2ps alQ4 J2ps alQ3-4	
5	2339/1327	Лисихинский кирпичный	1970	70	450	1. Почва, глина 2. Песок 3. Супесь 4. Песчаник плотный 5. Песчаник трещиноватый 6. песчаник плотный	Q J2ps J2ps alQ4 J2ps	
6	2294/1155(1)	Лисихинский завод, 3 учд	1969	91,5	440	1. почва, галечник с песком 2. Песчаник 3. Песчаник трещиноватый 4. Песчаник	alQ4 J2ps J2ps	
7	2195/1155(2)	Лисихинский завод, 1 учд	1969	92	440	1. почва, глина, галечник 2. конгломерат на глинистом 3. Песчаник 4. Песчаник кварцевый 5. Песчаник трещиноватый 6. Песчаник кварцевый	alQ4 J2ps J2ps alQ4 J2ps alQ3-4	
8	488	иркутск, ипподром	1951	5,5	440	1. почва, глина 2. Песок	alQ3-4 J2ps	
9	392	Территория аэропорта	1935	33	466,1	1. почва, суглинок с песком 2. Песчаник трещиноватый	alQ2-3 J2ps	
10	1758/1866	иркутск, марата, ул. Рабс	1963	81	430	1. Почва, глина с галькой 2. Песчаник трещиноватый	alQ3-4 J2ps	

Рис. 5-12. Пример таблицы из базы гидрогеологических данных

ArcGIS. Различные атрибутивные характеристики объектов (количественные и качественные данные водного состава, гидродинамические параметры и прочие данные) далее уже вносятся в базу данных и отображаются на картах при использовании инструментов оболочки-редактора ArcGIS. Сформированные картографические материалы на основе такой информации позволяют использовать их в качестве подложки для различных специальных карт. Такими могут быть ситуационные карты различного масштаба и фактического материала; карты расположения скважин режимных сетей; структурные карты; карты мощности продуктивных и разделяющих горизонтов, гидроизогипс и гидроизопьес; карты понижений уровней подземных вод и другие карты. Основные операции редактирования и создание новых слоев, добавление и удаление атрибутивных привязок, а также оформительские работы производились через приложения ПО ArcMap и ArcCatalog. Приложения редактирования имеют полный набор необходимых инструментов для работы, настраивались для создания картографического материала на основе информации с пространственной привязкой из базы данных. Инструментарий программ позволяет изменять метрические и атрибутивные данные, управлять видом их графического оформления в приложении. Вновь сделанные правки в программном редакторе вносятся в используемый документ и в базу данных, а картографические данные незамедлительно обновляются.

Выводная картографическая информация на основе баз данных формируется посредством использования профильного пакета программ ESRI ArcGIS, позволяющего обрабатывать предварительно подготовленную и координатно-привязанную гидрогеологическую информацию. Необходимая картографическая информация предоставляется на основе базы гидрогеологических данных, где организованная совокупность данных имеет взаимосвязь по определенным критериям и кооперируются с пространственными характеристиками объектов. Свойства объектов и их пространственное описание содержатся набором из нескольких тематических слоев в базе картографических данных. Тематический слой в свою очередь несет пространственно распределенную информацию об одной из описательной стороны картируемой территории, и именно в нем создается описание простых групп объектов, объединенных по указанным элементам. В общем понимании здесь элементы имеют общий набор атрибутов и относятся к одному геометрическому типу, т.е. создают участки или ячейки. Подготовленный тематический слой является основополагающим элементом в структуре создаваемой картографической информации и при создании имеет набор файлов с расширением shp, dbf и shx для ПО ArcGIS. Фактически это данные с описанием расположения, вида (геометрии) и атрибутов гидрогеологических объектов. Слои картографической информации имеют географическую характеристику территории и необходимые элементы топографической основы. К этим элементам относятся изолинии рельефа и отметки высот, речная сеть, лесные массивы, населенные пункты, промышленные зоны, сельскохозяйственные системы, орошаемые площади, дороги, трубопроводы, различные источники загрязнения и т.д. Тематические слои несут в себе данные о пространственных характеристиках и основных признаках гидрогеологических информационных объектов из базы гидрогеологических данных, характеризуют геолого-гидрогеологические условия, разведанность и освоенность территории. К таким объектам относятся скважины различного назначения, родники, колодцы. Выводной картографический (пример на рис. 5-13) материал гидрогеологического содержания несет в себе границы геологических, гидрогеологических и иных элементов (области распространения горизонтов, пород различного литологического состава, зон различной защищенности подземных вод, параметров водоносных и разделяющих комплексов и др.) и изолинии показателей (гипсометрическое положение поверхностей геологических подразделений и их мощности, текущие и прогнозные уровни подземных вод, концентрации компонентов и другие показатели качества и др.).

Комплексное решение, направленное на систематизацию, обобщение и анализ всей совокупности материалов, полученных по участку Иркутского района при проведении гидрогеологических и других видов исследований, мониторинга окружающей среды, а также использовании недр для добычи, извлечения и закачки вод позволили создать ГИС с гидрогеологической информацией на примере г. Иркутска с его окрестностями. Созданная база данных вполне может использоваться для хранения и обработки различных сведений об разведанных месторождениях подземных и перспективных участ-

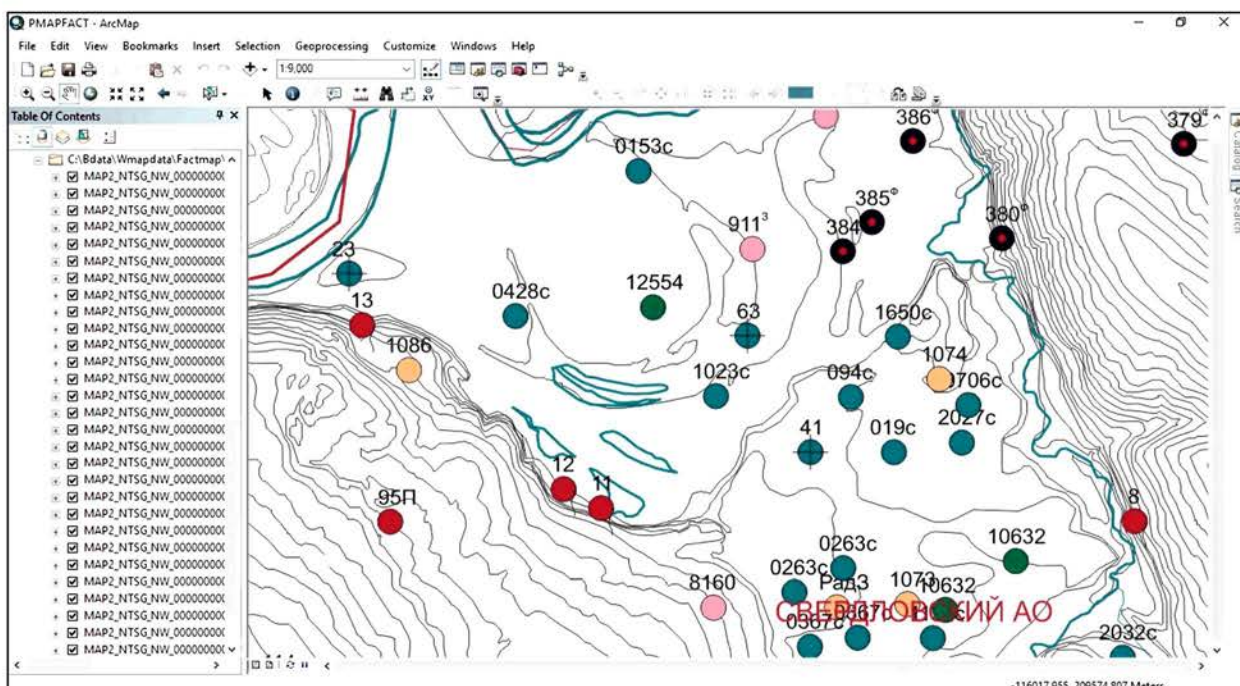


Рис. 5-13. Фрагмент карты фактического материала в оболочке ArcGIS

ках недр, в том числе фиксироваться могут сведения об эксплуатационных запасах подземных вод, оформленных лицензиях на участки недр и другая информация. Основополагающим принципом здесь является возможность хранения и обработки фактической (первичной) информации, полученной в результате непосредственных измерений гидрогеологических (уровни, отбор, химический состав и т.д.) и других видов показателей. Это дает возможность оценить достоверность исходных данных; осуществлять обоснованный выбор методов (способов) их обобщения; оценить динамику показателей, что необходимо при оценке факторов, определяющих протекание гидрогеологических процессов. На основе такой информации о геологическом строении, гидрогеологических условиях, компонентах окружающей среды и техногенных объектах далее вполне может быть создана информационная система, обеспечивающая принятие инженерных и управленческих решений на основе фактических данных. В зависимости от целевого назначения работ и соответствующей детальности в такой системе могут обрабатываться данные региональных исследований, поисков и оценки, разведки и добычи, а также мониторинга подземных вод. В качестве основных конкретных результатов подготавливаются гидрогеологические карты, выборки данных по оценке ресурсного потенциала и эксплуатационных запасов подземных вод, а также решения по использованию участков недр.

Вектор дальнейшего развития ГИС для г. Иркутска планируется направить на реализацию полноценной цифровой модели, где информационная система имеет численную математическую модель в рамках обозначенной территории и сопровождается базами данных, отражающих природные и антропогенные изменения состояния подземных водных объектов, систематически используемая и совершенствующаяся на основе интерпретации вновь поступающих данных. В базу гидрогеологических данных планируется внести по-

рядка 2000 новых точек актуальной информации, данных по водохозяйственной деятельности в районе, сводки о климатических условиях, гидрологическую информацию, данные по запасам и хозяйственному использованию подземных вод.

Обозначенная концепция перевода данных в цифровой вид не нова, т.к. в настоящее время активное внедрение в геологические исследования средств пространственной обработки и визуализации данных, именуемых "географическими информационными системами", происходит повсеместно. Примером российского продукта является уже реализованная ГИС геологической среды зоны влияния Московского градопромышленного комплекса (АИС ПДМ МГПК), разработанная в ПГО "Центргеология". Известна и используются система ГИС "GeoLink", а также некоторые программные системы численного моделирования задач геофильтрации и геомиграции. Создание выше перечисленных ГИС в основе своей имеют цель информационного обеспечения процесса принятия управленческих решений в сфере недропользования и государственного контроля за использованием недрами и охраной окружающей среды. Авторскую систему с охватом Иркутской территории в дальнейшем развитии также планируется расширить с учетом уже существующих и реализованных решений в упомянутых комплексах программ. Для этого планируется в пользовательском интерфейсе определенный рубрикатор графических построений, который будет включать в себя подразделы создания графиков, карт, геолого-технических профилей и разрезов. Построение графиков планируется осуществлять внутренними средствами по базам данных, будет предусматривать создание графиков зависимости различных показателей от времени, графиков корреляционных связей и др. Для создания выборочных участков карт с определенным набором данных будет использоваться ПО Golden Software Surfer. Его средствами в картографический формат поступят уже точки расположения имеющихся пунктов, идентификационные подписи к ним, автоматически обрисуются изолинии распределения выбранного параметра по площади. Построение геолого-гидрогеологических разрезов в настоящий момент уже реализуется в виде отображения линий, соединяющих выбранные пункты из базы данных, подстройку стратиграфических подразделений и вывода заливки литологического состава пород, глубины водопунктов, значений гидрогеологических показателей на определенные периоды времени. Для формирования геолого-технических разрезов по скважинам (ГТР) используется ПО Strater компании Golden Software. ГТР включает отображение стратиграфической и литологической характеристики слоев (текстовое описание и заливка), конструкции скважины и результатов геофизических исследований. Кроме всех вышеперечисленных возможностей такого "продукта" в дальнейшей работе планируется реализовать возможность дистанционного доступа к такой информации, сделать ее публичной и удобной для использования всеми заинтересованными в ней лицами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований было установлено, что интенсивное освоение Иркутской агломерации оказало значительное влияние как на геологическую среду в целом, так и подземные воды в частности. Техногенная компонента, интенсивно вносимая человеком в течение последних 60 лет в подземные воды, выразилась в изменении гидрогеодинамических, гидрогеотермальных и гидрогеохимических условий. Отмечается поднятие уровня поверхности подземных вод и вместе с этим взаимосвязанный процесс подтопления части городской территории, увеличение температуры подземных вод в границах городской застройки, повышение минерализации и изменение макро- и микрокомпонентного состава подземных вод с преобладающим накоплением соединений ряда веществ.

Произошедшим изменениям способствовали в ряде случаев благоприятные общие физико-географические и геолого-гидрогеологические условия, подробно рассмотренные в главах 2 и 3. Собранный фактический материал, фондовая и опубликованная литература позволили выполнить систематическое описание подземных вод четвертичных и юрских отложений с детальной характеристикой основных гидрогеологических параметров водоносных горизонтов и комплексов. По совокупности источников сведений отмечаются хорошо проницаемые породы зоны аэрации, неглубокое залегание и направление движения подземных вод, высокие фильтрационные показатели водовмещающих пород. В гидрохимическом разрезе основное внимание было уделено характеристике поля пресных вод (глава 4), мощность которого изменяется от нуля в долине р. Ангары до 200 м на водораздельном пространстве. Систематизированный массив обработанной информации был использован также для составления актуальных гидрогеологической, гидрогеодинамической и гидрогеохимической карт масштаба 1:25000 в границах городской территории и близлежащих окрестностей.

Актуальный картографический материал и результаты обобщения информации указывают на безусловное наличие антропогенного влияния практически по всей территории Иркутска и прилегающих районов в той или иной степени. Интенсивность такого влияния не одинакова как по площади, так и по глубине своего распространения. По приведенным критериям исследованная территория в контексте антропогенного воздействия подразделяется на 3 области - фоновую, преобразованного фона и аномально измененных участков. Внутри выделенных областей антропогенного воздействия интенсивность влияния распределена неравномерно, что связано с существующими источниками, видами загрязнения и основными поллютантами. По преобладанию тех или иных видов источников-загрязнителей (промышленные, бытовые и сельскохозяйственные) отслеживаются промышленная, селитебная и сельскохозяйственная зоны. Об интенсивности влияния на подземные воды каждого из выделенных источников можно судить по измененной в отношении к фоновым значениям - минерализации, содержанию в подземных водах ряда характерных макрокомпонентов состава (сульфаты,

нитриты и нитраты, фосфаты, калийные соединения и другие типичные элементы-загрязнители), а также температуре подземных вод.

Выполненные исследования подтверждают факт того, что самыми мощными источниками воздействия на подземную гидросферу являются промышленные предприятия, допускающие в своем производственном цикле также потери веществ-загрязнителей и их попадание на рельеф или в подземные воды напрямую (Новоиркутская ТЭЦ). Отдельно выделяется гидротехнический объект Иркутской ГЭС, своим появлением изменивший коренным образом структуру подземного потока и химический состав вод на право- и левобережье р. Ангары. В пределах городской застройки отмечаются объекты меньшего масштаба, вносящие значительную техногенную компоненту и локально изменяющие облик подземных вод, причем выявленные источники загрязнения порой носят постоянный временной характер. В меньшей степени настоящей работой было оценены сельскохозяйственные угодья, информации по которым оказалось недостаточным для оценки техногенной компоненты. В целом наибольшему техногенному воздействию подверглись подземные воды аллювиальных отложений поймы и низкого комплекса террас, обладающие малой естественной защищенностью. Следствием этого в местах складирования отходов (правобережные свалки ТБО), хранения нефтепродуктов (площадки Иркутсктерминал, Жилкинская нефтебаза), в жилой зоне отмечается устойчивое, в большинстве своем прогрессирующее загрязнение (глава 4). Подземные воды юрских отложений не испытали заметного площадного техногенного воздействия, исключая зону аэрации, где размещаются подвешенные водоносные горизонты юры. На участках размещения интенсивных источников загрязнения происходит относительно слабое качественное истощение подземных вод, распространяясь на глубину не более 50-65 м.

Анализ современного состояния качества вод городской территории и ближайших окрестностей показал, что на территории сосредоточен большой запас питьевых подземных вод, и, несмотря на сложную текущую эколого-гидрогеологическую обстановку, большую часть имеющихся потребностей городского активного хозяйства можно решить за счет использования в схеме водоснабжения именно таких вод. В главе 5 подробно рассмотрены источники и структура существующего централизованного и децентрализованного водоснабжения. Потребности коммунально-бытового водоснабжения г. Иркутска с относительно небольшими финансовыми вложениями могут быть покрыты за счет эксплуатационных ресурсов напорного водоносного горизонта аллювиальных отложений третьей надпойменной террасы на правобережье Иркутского водохранилища (Иркутское техногенное месторождение) и промышленного месторождения подземных вод юрских отложений "Ушаковское". Для подтверждения эксплуатационных запасов и анализа качественного состояния подземных вод в связи с изменением за последние десятилетия статуса территории, на которой размещаются месторождения, необходим минимальный объем гидрогеологических исследований.

При получении позитивных результатов по участкам Иркутского месторождения возможно будет приступить к проектированию водозабора по

иной, более эффективной схеме с использованием вместо линейного ряда эксплуатационных скважин малого диаметра замену в виде шахтного колодца большого диаметра с системой горизонтальных скважин по полосе аномальной водопроницаемости (многолучевой водозабор). Шахтный водозабор с ближайшего к городу участка даже в оценочном приближении может обеспечить крупную потребность в воде, удовлетворив при этом все требования, предъявляемым к подземным источникам централизованного водоснабжения. Исполнение изложенного по результатам исследований на Ушаковском месторождении позволит сделать корректирующий подсчет эксплуатационных запасов для иной конфигурации водозабора, образованию необходимой зоны санитарной охраны, а подтверждение принципиальной возможности пластового кондиционирования подземных вод послужит основанием полной реабилитации Ушаковского месторождения.

Выполненные исследования, результаты которых стали основой данной диссертационной работы, в своем объеме могут быть использованы при разработке схемы инженерной защиты городской территории от подтопления и загрязнения подземных вод, а также позволяют внести необходимые изменения в уже существующие решения по экологическим аспектам в рамках генерального плана развития городской инфраструктуры. Кроме того, рассмотренные месторождения пресных подземных вод и практические решения по их эксплуатации могут служить основой для реализации дополнительного источника централизованного водоснабжения города Иркутска, его части или какой-либо отдельной территории пригорода, а также при освоении прилегающих территорий для расширения жилого фонда.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Опубликованная литература

1. Абрамов С.К., Биндеман Н.Н., Бочеввер Ф.М. и др. Влияние водохранилищ на гидрогеологические условия прилегающих территорий – М.: Госстройиздат, 1960. – 318 с.
2. Адаменко В.Н. Климат больших городов. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 71 с.
3. Алексеев М.И., Дзюбо В.В., Алферова Л.И. Формирование состава подземных вод Западно-Сибирского региона и особенности их использования для питьевого водоснабжения // Вестник ТГСУ. – №1. – 1999. – с. 183-199.
4. Алексеев В.С., Коммунар Г.М., Астрова Н.В. Гидрогеологические проблемы регулирования качества подземных вод // Итоги науки и техники. Серия «Гидрогеология и инженерная геология» – М.: ВИНТИ, 1984. Т.9. – с. 88-95.
5. Алексеев С.В., Алексеева Л.П., Алексеев В.Р., Кононов А.М., Шолохов П.А. Гидрогеологические условия пос. Листвянка // География и природные ресурсы. – 2016. – № 6. – с. 32–36.
6. Алексеева Л.П., Алексеев С.В., Шолохов П.А., Оргильянов А.И., Кононов А.М. Качество подземных и поверхностных вод пади Крестовая (пос. Листвянка) // География и природные ресурсы. – 2016. – № 6. – с. 37–42.
7. Алексеев С.В., Алексеева Л.П., Шолохов П.А., Оргильянов А.И., Кононов А.М. Качество подземных и поверхностных вод поселка Листвянка (юго-западное побережье озера Байкал) // География и природные ресурсы. – 2018. – № 4. – с. 105–114.
8. Анпилов В.Е. Оценка параметра подтопления промышленных площадок на основе анализа грунтовых вод // Промышленное строительство. – 1973. – №10, – с. 20-23.
9. Анпилов В.Е. Формирование и прогноз режима грунтовых вод на застраиваемых территориях. - М.: Недра, 1984. – 160 с.
10. Арбузов С.И., Ершов В.В. Геохимия редких элементов в углях Сибири. Томск: Д-Принт, 2007. – 468 с.
11. Белицкий А.С. Охрана природных ресурсов при удалении промышленных жидких отходов в недра земли. – М.:Недра. 1976. – 145 с.
12. Белицкий А.С., Орлова Е.И. Охрана подземных вод от радиоактивных загрязнений. М.: Медицина, 1968. – 208 с.
13. Беспмятников Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник. – Л.: Химия, 1985. – 528 с.
14. Бочеввер Ф.М., Орадовская А.Е. Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнения. – М.: Недра, 1972. – 129 с.
15. Будыко М.И. Испарение в естественных условиях – Л.: Гидрометеиздат, 1948. – 136 с.

16. Бурдуковский В.А. Влияние повышенных попусков воды Иркутской ГЭС на подтопление территории г. Иркутска // Проблемы оценки и прогноза устойчивости геологической среды г. Иркутска. – Иркутск, 1997. – с. 162-164.
17. Гаев А.Я., М.А. Тихоненко, Ю.А. Килин. Фундаментальные и прикладные проблемы гидросферы. под ред. А.Я. Гаева. – М.: Университетская книга, ред.-изд. дом РНУ, 2018. – 200 с.
18. Гидрогеология СССР. Том XIX. Иркутская область. Вед. ред. В.Г. Ткачук. Москва: Недра, 1968. – 496 с.
19. Голодковская Г.А., Демидюк Л.М. Некоторые методологические вопросы оценки техногенных изменений геологической среды // Комплексные оценка и прогноз техногенных изменений геологической среды. – М.: Наука, 1985. – с. 11-17.
20. Голодковская Г.А., Елисеев Ю.Б. Геологическая среда промышленных регионов. – М.: Недра, 1989. – 220 с.
21. Гольдберг В.М., Газда П.П. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. – М.: Недра, 1984. – 160 с.
22. Готлиб Я.Л., Займин Е.Е., Раззорёнов Ф.Ф. и др. Ледотермика Ангары. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 198 с.
23. Гурулев С.А. К тектонике средней юры окрестностей Иркутска. Мат. по геол. и полез. ископ. Иркутской обл. Вып. 4 (XXXI), Иркутск, 1962 г.
24. Демьянович Н.И. Роль кайнозойской истории развития в формировании качества геологической среды г. Иркутска 2003 г.
25. Демьянович Н.И. Особенности ангарских террас как территориального ресурса г. Иркутска // География и природные ресурсы. – 2007. – № 1. – с. 100-106.
26. Дуров С.А. Синтез в гидрохимии. – Ростов-на-Дону: Ростов, 1961. – 247 с.
27. Ермашова Н.А. Геохимия подземных вод зоны активного водообмена Томской области в связи с решением вопросов водоснабжения и охраны // Диссертация канд. геол.-мин. наук. – Томск, ТПУ, 1998.
28. Жемчужников Ю.А., Гогунцов А.А. Иркутский угленосный бассейн // Обзор главнейших месторождений углей и горючих сланцев СССР. – Л.: ГГРУ, 1930. – с. 209-218.
29. Зайцев И.К., Гуревич М.С., Белякова Е.Е. Гидрохимическая карта Сибири и Дальнего Востока. Объяснительная записка. – ВСЕГЕИ, 3.: Госгеолтехиздат, 1961.
30. Ильяхина А.В., Кашик С.А., Стругов А.С., Одницова М.М. Литогенетические типы и фации юрских отложений // Юрские континентальные отложения юга Сибирской платформы. – М.: Наука, 1967. – с. 133-204.
31. Иркутская летопись 1661-1940 гг. – Иркутск: Оттиск, 2003. – 848 с.
32. Исакова В.С. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Серия Восточно-Саянская. Лист N-48-XXXIII. – М.: Госгеолтехиздат, 1962.
33. Кирюхин В.А., Коротков А.И., Шварцев С.Л. Гидрогеохимия, – М.: Недра, 1993. – 384 с.

34. Климат Иркутска, под ред. Ц.А. Швер, Н.П. Форманчук. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1981. – 248 с.
35. Климентов П.П., Кононов В.М. Методика гидрогеологических исследований. – М.: Высшая школа, 1989. – 448 с.
36. Клубов С.В., Прозоров Л.Л. Геоэкология: история, понятия, современное состояние. – М.:ВНИИЗарубежгеология, 1993. – 162 с.
37. Копорулин В.И. Типы вторичных изменений песчано-гравийных пород угленосной толщи Иркутского бассейна и возможная их связь с подземными водами. Изд. АН СССР, серия геол., №3, 1962.
38. Копорулин В.И. Вещественный состав, фации и условия формирования угленосной толщи центральной части Иркутского бассейна. – М.: Наука, 1966. – 199 с.
39. Коротеев А.П. Спутник гидрогеолога. – Л.: ОНТИ, 1934. – 316 с.
40. Костин С.И. Основы метеорологии и климатологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1955. – 395 с.
41. Котлов В.Ф. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. – М.: Недра, 1978. – 263 с.
42. Котлов В.Ф., Братнина И.А., Сипягина И.К. Город и геологические процессы. – М.: Недра, 1967. – 228 с.
43. Кочетков В.М., Куренной В.В., Пугач С.Л., Язвин Л.С. Экология подземных вод // Геоэкологические исследования и охрана недр. – 1994. – Вып. 3. – 53 с.
44. Крайнов С.Р., Швец В.М. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. – М.: Недра, 1987. – 237 с.
45. Крайнов С.Р., Швец В.М. Гидрогеохимия. – М.: Недра, 1992. – 464 с.
46. Кригер Н.И. История развития техногенеза // Проблемы инженерной геологии городов. – М.: Наука, 1983. – с. 40-44.
47. Ломоносов И.С., Пиннекер Е.В., Угланов И.Н. Подземные воды впадины Иркутского угленосного бассейна. Тр. II совещания по подз. водам и инж. геологии В. Сибири, вып. 1., Иркутск, 1959 г.
48. Методические основы оценки техногенных изменений геологической среды городов / Г.Л. Кофф, Т.Б. Минакова и др. – М.:Наука, 1990. – 196 с.
49. Методы охраны подземных вод от загрязнения и истощения // Под ред. Гавич И.К. – М.: Недра, 1985. – 720 с.
50. Минкин Е.Л. Исследования и прогнозные расчеты для охраны подземных вод. – М.: Недра, 1972. – 112 с.
51. Мироненко В.А., Румынин В.Г. Проблемы гидрогеоэкологии. В 3-х т. – М.: Изд-во МГГУ, 1999. – 815 с.
52. Невечеря И.К., Зеленцова Н.И., Померанцева Л.Г. и др. Прогноз изменения гидрогеологических условий под влиянием водохозяйственных мероприятий. – М.: Недра, 1987. – 205 с.
53. Орлов М.С., Питьева К.Е. Гидрогеоэкология городов. – М.: Инфра, 2013. – 287 с.

54. Оценка изменений гидрогеологических условий под влиянием производственной деятельности // Под ред. Фомина В.М. – М.: Недра, 1978. – 264 с.
55. Пиннекер Е.В., Писарский Б.И., Шенькман Б.М. и др. Естественные ресурсы подземных вод юга Восточной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1976. – 125 с.
56. Пиннекер Е.В. Подземные воды Иркутско-Черемховского промышленного района // Диссертация канд. геол.-мин. наук. – Иркутск, ИЗК СО АН СССР, 1958.
57. Пиннекер Е.В. Охрана подземных вод. – Новосибирск: Наука, 1979. – 70 с.
58. Пиннекер Е.В. Подземные воды Прикутской впадины. Сборник Региональная гидрогеология Сибири и Д. Востока. Иркутск, 1962 г.
59. Пиннекер Е.В. Экологические проблемы гидрогеологии – Новосибирск: Наука, 1999. – 128 с.
60. Пиннекер Е.В., Шенькман Б.М. Техногенное изменение гидрогеохимической обстановки в Ангаро-Ленском артезианском бассейне // Геоэкология. – 1995. – № 1. с. 110 – 122.
61. Писарский Б.И., Демьянович Н.И., Тржцинский Ю.Б. и др. Проблемы охраны геологической среды (на примере Восточной Сибири). – Новосибирск: Наука, 1993. – 168 с.
62. Питьева К.Е. Гидрогеохимические аспекты охраны геологической среды. под ред. Роговской Н.В. – М.: Наука, 1984. – 220 с.
63. Плотников Н.И. Введение в экологическую гидрогеологию. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 204 с.
64. Плотников Н.И. Техногенные изменения гидрогеологических условий, – М.: Недра, 1989. – 270 с.
65. Плотников Н.И., Краевский С.Н. Гидрогеологические аспекты охраны окружающей среды. – М.: Недра, 1983. – 208 с.
66. Посохов Е.В. Общая гидрогеохимия. – М.: Недра, 1975. – 208 с.
67. Ретхати Л. Грунтовые воды и строительство / Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1989. – 432 с.
68. Романов Н.С. Летопись города Иркутска 1881-1901 гг. - Иркутск: Вост.-Сиб. изд-во, 1991. – 544 с.
69. Романов Н.С. Летопись города Иркутска 1902-1924 гг. - Иркутск: Вост.-Сиб. изд-во, 1994. – 560 с.
70. СанПиН 2.14.1175-02 Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников. М., 2002.
71. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М., 2001.
72. Сологаев В.И. Прогнозы изменения гидрогеологических условий на застраиваемых территориях с учётом свайных фундаментов зданий и сооружений // Современные проблемы инженерной геологии и гидрогеологии городов и городских агломераций. – М.: Наука, 1987. – с. 376.

73. Сычев К.И. Геоэкологическое изучение территории СССР. Разведка и охрана недр. – 1990. – №3. – с. 3-10.
74. Ткачук В.Г., Пиннекер Е.В. Подземные воды Иркутской области и их народохозяйственное значение. Иркутск, 1959.
75. Тектоника фундамента Восточно-Европейской и Сибирской платформ. Труды ГИН АН СССР, вып. 321. – М.: Наука, 1978. – 221 с.
76. Техногенные процессы в подземных водах: Биосферный подход, диагностика, управление / под ред. И.К. Гавич. – М.: Научный мир, 2003. – 248 с.
77. Толстихин Н.И. Подземные воды и минеральные источники Восточной Сибири. Материалы по подземным водам Вост. Сибири. Иркутск, 1957.
78. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая гидрогеология и ее логическая структура // Вести МГУ. – Сер. 4. Геология. – 1995. – №4. – с. 33-45.
79. Трофимов В. Т., Харькина М.А., Барабошкина Т.А. и др. Экологические функции абиотических сфер земли. – М.: КДУ, 2018. – 608 с.
80. Тютюнова Ф.И. Гидрогеохимия техногенеза. – М.: Наука, 1987. – 335 с.
81. Ферсман А.Е. Геохимия. – Л.:ОНТИ, Химтеорет, 1934. – 354 с.
82. Фрид Ж. Загрязнение подземных вод (перевод с английского) – М.: Недра, 1981. – 304 с.
83. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. Изд. 2-е, испр. и перераб. – М.: Недра, 1998. – 366 с.
84. Шварцев С.Л. Гидрогеоэкология, ее содержание и фундаментальные основы развития / Современные проблемы гидрогеологии и гидрогеомеханики. Сб науч. докл. конф. – СПб., 2002. – с. 204-209.
85. Шевелев Ф.А., Орлов Г.А. Водоснабжение больших городов зарубежных стран. – М.: Стройиздат, 1987. – 351 с.
86. Шенькман Б.М. Ресурсы и геохимия подземных вод Прииркутской впадины // Диссертация канд. геол.-мин. наук. – Иркутск, ИЗК СО АН СССР, 1969.
87. Шенькман Б.М., Легейдо И.Н. Экологическая эволюция химического состава подземных вод большого Иркутска // Эколого-геохимическая оценка городов различных регионов страны. – М.: ИМГРЭ, 1991. – 124 с.
88. Шенькман Б.М. Геохимия подземных вод юрских отложений Прииркутской впадины // В кн.: Формирование и геохимия подземных вод Сибири и Дальнего Востока. М.: Наука, 1967, с. 197-208.
89. Шенькман Б.М. Закономерности формирования месторождений пресных подземных вод Прииркутской впадины // В кн.: Методика гидрогеологических исследований и ресурсы подземных вод Сибири и Дальнего Востока. М.: Наука, 1966, с. 311-324.
90. Шенькман Б.М. Подтопление зоны исторической застройки г. Иркутска // Гос. доклад о состоянии окружающей природной среды Иркутской области в 1997 г. – Иркутск: ОАО НПО “Облмашинформ”, 1999. – с. 146–148.

91. Шенькман И.Б., Шенькман Б.М. Качественное состояние подземных вод в районе правобережных очистных сооружений г. Иркутска // Гос. доклад о состоянии окружающей природной среды Ирк. обл. в 1998 г. – Иркутск: ОАО НПО «Облмашинформ», 1999. – с. 145-147.
92. Шенькман Б.М., Шенькман И.Б. Оценка фильтрационного потока из золоотвала Ново-Иркутской ТЭЦ и его влияние на подземные воды // Гос. доклад о состоянии окружающей природной среды Ирк. обл. в 1998 г. – Иркутск: ОАО НПО «Облмашинформ», 1999. – с. 147-148.
93. Шенькман И.Б. Иркутское месторождение пресных подземных вод в условиях нарастающих антропогенных нагрузок // Мат. XV Всероссийского совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1997. – с. 47-48.
94. Шенькман Б.М., Шолохов П.А., Шенькман И.Б. Подтопление Иркутска грунтовыми водами // География и природные ресурсы, №2, 2011. – с. 54-61.
95. Шенькман Б.М., Шолохов П.А., Шенькман И.Б. Железо и марганец в пресных подземных водах Иркутска // Вестник ИрГТУ, №8(55), 2011. – с. 76-83.
96. Шенькман Б.М. Качественное состояние подземных вод в условиях естественного и нарушенного режима (зона свободного водообмена Ангара-Ленского артезианского бассейна) // Материалы научной конференции «Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов». – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2005. – с. 324-326.
97. Шенькман И.Б. Ресурсы пресных подземных вод для централизованного водоснабжения г. Иркутска // Интеллектуальные и материальные ресурсы Сибири: сб. науч. тр. – Иркутск: Изд-во ИГЭА, 2002. – с. 125-133
98. Шестаков В.М. Прикладная гидрогеология. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 144 с.
99. Шехтман Ю.М. Фильтрация малоконцентрированных суспензий. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 237 с.
100. Шутов О.Р. К вопросу о взаимосвязи различных форм серы в углях Иркутского бассейна. Сб. “Новые данные по геологии, нефтеносности и полезным ископаемым”. – М.: Недра, 1964. – 107 с.
101. Экологические основы водохозяйственной деятельности (на примере Оренбургской области и сопредельных районов) / А.Я. Гаев и др. – Пермь-Оренбург: Перм. ун-т, 2007. – 327 с.
102. Юрские континентальные отложения юга Сибирской платформы. – М.: Наука, 1967. – 319 с.
103. Baas-Bekking L.G., Kaplan I.R., Mur D. Predely kolebaniy rN i okislitel'no-vosstanovitel'nykh potentsialov prirodnykh vod [Limits of pH fluctuations and redox potentials of natural waters] // Geokhimiya litogeneza: sb. st. / pod red. A.B. Ronova. M.: Izd-vo inostr. lit., 1963. pp. 11–84.

104. Bouwer H., Rice R.C. A slug test method for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells, *Water Resources Research*, vol. 12, no. 3, 1976, pp. 423-428.
105. Bouwer H., The Bouwer and Rice slug test - an update, *Ground Water*, vol. 27, no. 3, 1989, pp. 304-309.
106. Bowen R. *Ground water*, 2d ed. L., Elsevir, 1986, 428 p.
107. Jean J.F. *Groundwater pollution. Theory, methodology, modelling and practical rules*, Elsevier Scientific Publishing, 1975, 330 p.
108. Domenico P.A., Schwartz F.W. *Physical and chemical hydrogeology*, 1st edn. Wiley, New York, 1990, 824 p.
109. Drangert J.O., Cronin A.A. Use and abuse of the urban groundwater resource: implications for a new management strategy, *Hydrogeol J.*, vol. 12, 2004, pp. 94-102.
110. Fetter C.W. *Applied hydrogeology*, 4th edn., Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2001, 598 p.
111. Foster S.D. Groundwater use in developing cities: policy issues arising from current trends *Hydrogeology Journal* volume 19, 2011, pp. 271-274.
112. Foster S.D. The interdependence of groundwater and urbanization in rapidly developing cities, *Urban Water*, Volume 3, Issue 3, 2011, pp. 185-192.
113. Foth J. Ground water and hydrocarbon migration, *The geology of North American*, vol. 0-2, The geological society of America, 1988, 320 p.
114. Freeze R.A., Cherry J.A. *Groundwater*, Upper Saddle River: Prentice Hall, 1979, 604 p.
115. Hibbs B.J., Sharp J.M. Hydrogeological impacts of urbanization, *Environ Eng Geosci*, vol. 18, 2012, pp. 3-24.
116. Howard K.W.F. (ed) *Urban groundwater: meeting the challenge*, IAH Selected Paper Series 8, Taylor & Francis, Oxford, UK, 2007, 307 p.
117. Hudak P.F. *Principles of hydrogeology*, USA: Lewis Publishers, 2000, 204 p.
118. Lundqvist J., Gleick P. Sustaining our waters into the 21st century. Background document, *Comprehensive Freshwater Assessment*, chapter 4. Stockholm Environment Institute, Stockholm, 1997.
119. Matthess G.Y., Ubell K. *Allgemeine hydrogeologie*, B.I.Stuttgart, Borntraeger, 1983, 438 p.
120. Soliman M.M. et al. *Environmental hydrogeology*, Boca Raton: Lewis publishers, 1997, 386 p.
121. Todd D.K. *Ground water hydrology*, 2d ed., N.Y., J.Wiley, 1980, 552 p.
122. Thomas D.A. Characterization of water fluxes at a Trench and Gate groundwater remediation site: PhD thesis, Alberta, Canada, 1999, 240 p.

Фондовые и неопубликованные источники

123. Акимова К.И. Геологический отчет по результатам бурения Щукинской разведочной роторной скважины Р-1. Фонды ВСНГ, Иркутск, 1950.

124. Акимова К.И. Геологический отчет по результатам бурения Большеразводнинской разведочной роторной скважины Р-2. Фонды ВСНГ, Иркутск, 1950.
125. Беркин Н.С., Малий В.А. и др. Сводный отчет Иркутской гидрогеологической станции за 1960-1966 гг. Фонды ИГУ, Иркутск, 1968.
126. Блохин Ю.И. и др. Гидрогеологическое и инженерно-геологическое доизучение листа №-48-XXXIII с ГЭИК-200. Иркутск, ТГФ, 1999.
127. Бондаренко Л.Н., Бондаренко Е.М. Отчет о результатах работ по разведке пресных подземных вод для водоснабжения г. Шелехова. Геолфонд, Иркутск, 1969.
128. Бондаренко Л.Н., Бондаренко Е.М., Преловский К.К. Отчет о результатах работ по разведке пресных подземных вод для водоснабжения северной части г. Иркутска (отчет Ушаковского отряда за 1963-65 гг.). Геолфонд, Иркутск, 1972.
129. Винниченко М.Н., Файнштейн Г.Х., Панаев В.А. и др. Отчет по теме: палеогеографические условия формирования и закономерности размещения мезозойских осадочных комплексов южной части Сибирской платформы и связанными с ними полезными ископаемыми. Фонды ИГУ, Иркутск, 1964.
130. Гинин В.В., Лумпов И.А. Отчет о результатах разведки подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Иркутска с подсчетом эксплуатационных запасов по состоянию на 01.03.1975 (отчет Иркутского отряда за 1969-1975 гг.). Геолфонд, Иркутск, 1975.
131. Деев Ю.П., Лившиц И.А. Сводный геологический отчет Усть-Ордынской геологической экспедиции о поисковых работах на спекающиеся каменные угли в юго-восточной части Иркутского угленосного бассейна в 1946-1948 гг. Фонды ИГУ, Иркутск, 1949.
132. Еловская М.А., Малий В.А. Записка о результатах наблюдений, проводившихся в 1964-65 гг. за подземными водами на участках обходной фильтрации Иркутской ГЭС. Иркутск, Гидропроект, 1960.
133. Емельянов В.А. Иркутская ГЭС на р. Ангаре. Отчет об инженерно-геологических изысканиях и исследованиях 1950 года. Фонды ИГУ, Иркутск, 1951.
134. Кара Е.Г. Внутрисуточный ход стока в период снеготаяния и точность его учета на реках Иркутской области. Фонды ИУГМС, Иркутск, 1966.
135. Качура В.П., Шурыгин Б.Л. Геологические, гидрогеологические условия территории листов №-48-124-В,Г и №-48-125-В (промежуточный отчет). Фонды ИГУ, Иркутск, 1967.
136. Иванилова Р.Ф., Вагина А.П., Щербакова Г.И. Справочник о наличии ресурсов подземных вод, пригодных для центрального водоснабжения городов и промышленных предприятий с данными о степени их использования и имеющихся резервов. Иркутская область. ИГУ, Иркутск, 1971.

137. Иванилова Р.Ф. и др. Обобщение материалов по загрязнению подземных вод в основных промышленных, сельскохозяйственных и осваиваемых районах Иркутской области. ИГУ, Иркутск, 1980.
138. Крикщонас В.К. Материалы о фильтрационных исследованиях территории г. Иркутска и пригородов по работам 1954-1956 гг. Фонды ИГУ, Иркутск, 1956.
139. Крикщонас В.К. Отчет о гидрогеологических исследованиях 1956-1957 гг. на междуречье Ангары и Китоя. Фонды ИГУ, Иркутск, 1958.
140. Лившиц И.А. Отчет Иркутской гидрогеологической партии по водоснабжению Иркутского аэропорта. Фонды ИГУ, Иркутск, 1935.
141. Лившиц И.А., Компаниец Н.Г. Отчет о результатах инженерно-геологических и гидрогеологических исследований участков водоснабжения комбината 16, проведенных в 1946-1948 гг. Фонды ИГУ, Иркутск, 1948.
142. Лумпов И.А. Отчет о детальных поисках пресных подземных вод с целью хозяйственно-питьевого водоснабжения левобережной части г. Иркутска за 1988-1991 гг. ТГФ, Иркутск, 1991.
143. Никаноров Ф.Я. Отчет о гидрогеологических исследованиях в примыканиях в нижнем бьефе Иркутской ГЭС в связи с обходной фильтрацией из водохранилища. Иркутск, Гидропроект, 1960.
144. Орлова Л.И., Яковлева И.А. Технический отчет об инженерно-геологических изысканиях по трассе тепломагистрали от Новоиркутской ТЭЦ до микрорайонов верхнего бьефа ГЭС в г. Иркутске. Участок мостового перехода через р. Ангару. ВНИПИЭнергопроект, Иркутск, 1988.
145. Осипянц К.В. Результаты колонкового бурения на Еловской площади за 1950-1951 гг. Фонды ВСНГ, Иркутск, 1952.
146. Отчет И-8159 об инженерно-геологических изысканиях по внеплощадным сетям и коммуникациям для предприятия п/я Р-6043. ОАО «ВостСибТИСИЗ», Иркутск, 1986.
147. Пермьяков С.А. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые листов №-48-125-А, Б, В, Г; №-48-126-А; №-48-137-А, Б, В, Г и №-48-138-А, Б, В, Г. Иркутск, ТГФ, 1985.
148. Пугач С.Л., Бондаренко Л.Н. Гидрогеологические условия листа №-48-XXXIII. Фонды ИГУ, Иркутск, 1960.
149. Рыбаков В.Г. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна р. Ангары и ее притоков: Иркут, Китоя, Ушаковки и Куды, геологическое доизучение (1991-1999 гг.). Иркутск, ТГФ, 1999.
150. Савари И.А. Инженерно-геологическая характеристика полосы от г. Иркутска до г. Черемхово. Фонды ИГУ, Иркутск, 1960 г.
151. Сироткин Л.А., Шурыгин Б.Л., Шенькман Б.М. и др. Геологические, гидрогеологические и инженерно-геологические условия территории листов №-48-137 А и Б. Отчет по результатам съемки масштаба 1:50000 1961-1963 гг. Иркутск, ТГФ «Иркутскгеология», 1964.

152. Технический отчет по результатам инженерных изысканий по мостовому переходу через р. Ангара в г. Иркутске. ГипрдорНИИ, Иркутск, 1999.
153. Титов Н.А. Подземные воды и инженерно-геологические условия окрестностей г. Иркутск. Фонды ИГУ, Иркутск, 1936.
154. Трофимук П.И., Угланов И.Н. Эксплуатационные ресурсы подземных вод Иркутской области (пояснительная записка к карте м-ба 1:2500000). Фонды ИГУ, Иркутск, 1961.
155. Трофимук П.И. Прогнозная оценка эксплуатационных запасов пресных подземных вод для целей водоснабжения по Иркутской области. Фонды ИГУ, Иркутск, 1963.
156. Филюк А.Г. Отчет о гидрогеологических исследованиях за 1958 г. в примыканиях плотины в нижнем бьефе в связи с обходной фильтрацией из водохранилища и попусками Иркутской ГЭС. Гидропроект, Иркутск, 1959.
157. Цахновский М.А., Обухов В.Ф. Заключение по скважине №3, пробуренной стратиграфической партией на территории Иркутской городской клинической больницы. Фонды ВСНГ, Иркутск, 1958.
158. Чернышева Г.И. Результаты колонкового бурения по Большеразводнинской партии за 1949-1951 гг. Фонды ВСНГ, Иркутск, 1952.
159. Чижов А.Д., Нечаева С.М., Вознюк Г.А. и др. Отчет об инженерных изысканиях для обоснования основных положений схемы инженерной защиты города Иркутска от опасных геологических процессов. НПО Стройизыскания, ВОСТСИБТИСИЗ, Иркутск, 1988.
160. Шенькман Б.М. Зона интенсивного водообмена Ангара-Ленского артезианского бассейна (Ресурсы и геохимия подземных вод). ИЗК СО АН СССР, 1983.
161. Шенькман Б.М. Оценка фильтрационного потока из золоотвала Ново-Иркутской ТЭЦ и его влияние на подземные воды. НПФ Геомикс, СибВНИПИЭнергопром, Иркутск, 1997.
162. Шурыгин Б.Л., Качура В.П., Гинин В.В. и др. Геологические, гидрогеологические и инженерно-геологические условия северной части Прииркутской впадины (отчет о результатах комплексных исследований масштаба 1:50000 за 1964-67г.г. на территории листов №-48-124-Б,Г и №-48-125-А,Б). Иркутск, ТГФ, 1969.