

На правах рукописи



Шолохов Павел Анатольевич

**ТЕХНОГЕНЕЗ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЫ
В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДА ИРКУТСКА**

Специальность 1.6.6. Гидрогеология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск, 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте земной коры Сибирского отделения Российской академии наук

Научный руководитель:

Алексеев Сергей Владимирович, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией гидрогеологии ИЗК СО РАН (г. Иркутск)

Официальные оппоненты:

Лепокурова Олеся Евгеньевна, доктор геолого-минералогических наук, ФГБУН Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Томск

Аузина Лариса Ивановна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск

Защита диссертации состоится «23» ноября 2021 г. в 10⁰⁰ ч. на заседании диссертационного совета 24.1.062.01 при Институте земной коры СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, конференц-зал

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Института земной коры СО РАН и на сайте: http://crust.irk.ru/newsfull_194.html

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета к.г.-м.н. В.В. Акуловой по адресу: 664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128 или электронной почтой akulova@crust.irk.ru

Автореферат разослан «____» октября 2021 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.1.062.01

кандидат геолого-минералогических наук

Акулова Варвара Викторовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Иркутск - главный областной экономический центр, включающий обширные жилой, промышленный и сельскохозяйственный комплексы. Последние 25-30 лет существенно увеличилась площадь, занимаемая городом и окрестностями. С хорошо дренируемых площадей строительство постепенно переместилось на широкие поймы рек Ангары, Иркуты, Ушаковки, Каи, при этом существенно деформировалось гидрогеодинамическое поле. В результате произошло общее повышение уровня грунтовых вод, увеличилась площадь пойменных "озер". Подтопление сопровождалось коренным изменением качества подземных вод. Все изменения за прошедшие полвека в границах города зафиксированы исключительно эпизодично и на узколокальных участках по бессистемно расположенным малочисленным водопунктам. В условиях отсутствия полноценной сети мониторинга за подземными водами особую актуальность приобретает изучение происходящих гидрогеодинамических и гидрогеохимических процессов, особенно для успешной реализации генерального плана развития города. Знание гидрогеологических условий, изучение влияния антропогенной деятельности на геологическую среду, определение негативных последствий неоправданного хозяйственного использования территории позволит прогнозировать состояние подземной гидросферы Иркутска в ближайшей перспективе. Актуальные сведения о состоянии водных объектов - основа 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 Иркутска и его окрестностей. Автором оценены естественные природные условия территории: определены факторы формирования состава подземных вод, гидродинамические параметры гидрогеологических подразделений, установлена гидравлическая взаимосвязь водоносных горизонтов и поверхностных вод; выявлены существующие и потенциальные техногенные источники загрязнения подземных вод, показаны их типы, размещение, интенсивность и степень влияния, а также эмиссионная динамика; охарактеризована пространственная химическая зональность подземных вод, определены фоновые показатели химического состава природных неизмененных вод; выполнен 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 ближайших ранее разведанных месторождений - Ушаковского и Иркутского; в отношении схемы эксплуатации этих месторождений разработаны проектные решения, позволяющие вести длительный водоотбор с необходимым качеством добываемых ресурсов; дана детальная картографическая оценка гидрогеологическим, гидрогеохимическим и гидрогеодинамическим условиям исследуемой территории в масштабе 1:25000.

Объектом исследования являются подземные воды Иркутской агломерации, условия формирования, распространения, качественные и количественные характеристики которых в условиях техногенеза представляют предмет исследования.

Цели и задачи. Цель работы - оценка преобразования гидрогеологической обстановки в г. Иркутске и его пригородах за истекшие более чем полвека и прогноз последующих изменений. Для этого предлагалось решить следующие задачи: 1) опробовать густую сеть естественных и искусственных водопунктов, проанализировать обширную архивную фактуру, собрать неучтенный массив информации геологических организаций; 2) выявить условия распространения подземных вод на рассматриваемой территории; 3) охарактеризовать протекающие гидрогеологические процессы и оценить изменение обстановки в качественном отношении, выявить общую картину техногенных процессов в пространственно-временных координатах; 4) разработать обоснованные рекомендации по защите и сохранению ресурсов пресных подземных вод 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.

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 П^{го} Иркутска с промзоной и в Новоленино. Подтопление территории носит устойчивый характер (уровни воды фиксируются на отметках 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. Подготовленные картографические и диссертационные материалы могут быть использованы при разработке и проектировании водозаборных сооружений для населения и предприятий, строительстве различных хозяйственных объектов, при развитии схем экологического мониторинга предприятий на местах их размещения, а также при принятии решений администрацией города, затрагивающих геологическую среду. Построенная карта глубины залегания уровня подземных вод с реализованной детальностью является достаточной для разрабатываемого современного варианта схемы микросейсмического районирования г. Иркутска к последней редакции генплана города.

Апробация результатов

Основные результаты исследований, положения и отдельные разделы диссертационной работы были представлены и обсуждались на следующих международных и всероссийских семинарах и конференциях: IV Международная научная конференция “Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах” (БелГУ, 2010 г., г. Белгород), 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 минерализация 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 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”.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Состояние подземной гидросферы волнует гидрогеологов, специалистов смежных отраслей, сопровождается множественными публикациями в научных журналах, производственных отчетах, медийной и интернет сферах. Во всей массе поступающей информации особое внимание уделяется проблеме чистой воды территорий. Ресурсы подземных вод расходуются потребительски и истощаются повсеместно, в качественном отношении подвергаются загрязнению и становятся непригодными к использованию. Яркими примерами этого являются большие города с обширными пригородами, имеющие продолжительную историю воздействия на подземную гидросферу. В связи с этим Иркутская городская агломерация была выбрана объектом настоящего исследования не случайно.

Изучение проблем взаимодействия человека и подземной гидросферы под общим направлением экогидрогеологии развивали многие ученые - Белицкий А.С., Бочевер 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., Швец В.М., Шестаков В.М., Язвин Л.С. Из зарубежных исследователей в сопоставимом направлении “Environmental geology” выделяются 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., Matthes G.Y., Mur D., Kastany J., Leduc C., Lundqvist J., Todd D.K., Winter C.L. В экологической гидрогеологии обобщающим понятием для любого воздействия человека на природу А.Е. Ферсманом был предложен термин “техногенез”, который детально изучали Плотников Н.И., Пиннекер Е.В., Трофимов В.Т. и др. В контексте изучения подземных вод обозначенная проблема взаимодействия геологической среды и человека продолжает быть на пике актуальности, особенно с учетом многообразия источников антропогенного воздействия и оказываемого влияния на гидрогеологическую среду. Гидрогеологическая изученность г. Иркутска характеризуется большим количеством сведений о подземных водах, приведенных в

многочисленных отчетах, научных исследованиях и специализированных статьях. Материалы различны по полноте данных, структуре приведенных сведений и достоверности изложенных оценок. Началом изучения подземных вод можно считать 20^е годы XX века, с момента начала изучения гидрогеологических условий месторождений полезных ископаемых, гидрогеологического картирования территорий, изучения минеральных вод и гидрогеологических исследований для целей водоснабжения. К настоящему времени имеется обширный фактический материал, который характеризует геологическое строение, гидрогеологические и инженерно-геологические условия рассматриваемой территории. Собранная гидрогеологическая информация позволила выполнить систематизацию и кондиционный анализ материала в рамках городской структуры более чем за последние 50 лет.

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" ИЦ 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.

ГЛАВА 2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Физико-географические и гидрологические условия, геологическое строение и тектонические особенности в границах г. Иркутска рассмотрены по опубликованным и фондовым материалам ранее выполненных исследований. В целом для рассматриваемой территории характерен рельеф, состоящий из сочетания узких плосковерхих водоразделов, широких речных долин и многочисленных падей и распадков. Современные черты рельефа территории в основном определяется характером гидрографической сети, которая представлена крупными реками Ангарой, Иркутом и Ушаковкой. Большая часть территории занята склонами различной ориентации, что предопределено тектонической трещиноватостью (Чижов, 1988). Климатические условия имеют специфические черты в виде выпадающих до 421 мм осадков (среднегодовых), из которых 77% приходится на теплый период и 23% на холодный. Устойчивый снежный покров в Иркутске сохраняется на протяжении почти пяти месяцев, определяя в значительной степени весенний сток и режим рек. Температура воздуха очень низка зимой (в январе в -20,9 °С в среднем) и высока (в июле) в летние месяцы с наибольшим приходом солнечной радиации (в июне). Геологический разрез территории формируют толщи пород юрского возраста с подразделением на черемховскую, присаянскую и кудинскую свиты. В нижней части рассматриваемого разреза отложения юры подстилаются нижнекембрийскими карбонатными породами, а верхняя часть состоит из расположенных повсеместно рыхлых четвертичных отложений различных генетических разновидностей [Демьянович, 2007; Пермяков, 1985; Рыбаков, 1999; Шурыгин, 1969]. Коренные отложения юры представлены разнозернистыми песчаниками, алевролитами и аргиллитами, четвертичные отложения – гравийно-галечниковыми грунтами с песчаным заполнителем, супесями, суглинками и песками. Тектонические особенности городской территории характеризуются наличием ряда крупных разломов, из которых Ангарский наиболее отчетливо выражен в рельефе долины р. Ангары.

ГЛАВА 3. РАСПРОСТРАНЕНИЕ И УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД. По принятой схеме гидрогеологического районирования площадь, занимаемая г. Иркутском и его окрестностями, расположена в пределах центральной части Прииркутской впадины Иркутского артезианского бассейна (Деев, 1949; Толстихин, 1957; Ломоносов и др., 1959), имеет выраженную гидродинамическую и гидрохимическую зональность, характеризуется сложными гидрогеологическими условиями. Сложность условий обусловлена пестротой литолого-фациального состава юрских отложений: из всех разновидностей водоупором являются лишь аргиллиты, водоносными – крупнозернистые песчаники, а комбинации разновидностей от среднезернистых песчаников до алевролитов могут быть либо обводненными, либо относительно водоупорами в зависимости от степени их трещиноватости. Стратификация водоносных подразделений юрских и четвертичных отложений в настоящем исследовании основана на геолого-съемочных и обобщающих работах (Пиннекер, 1958; Трофимук, 1963; Сироткин, 1964; Шенькман, 1969, 1983; Лумпов, 1991; Блохин, 1999). Глубина исследования по разрезу была ограничена зоной пресных вод, объединяющей 4 подразделения в юрских и 3 в четвертичных отложениях (рис. 1). В рамках рассматриваемой гидрогеологической структуры накоплен-

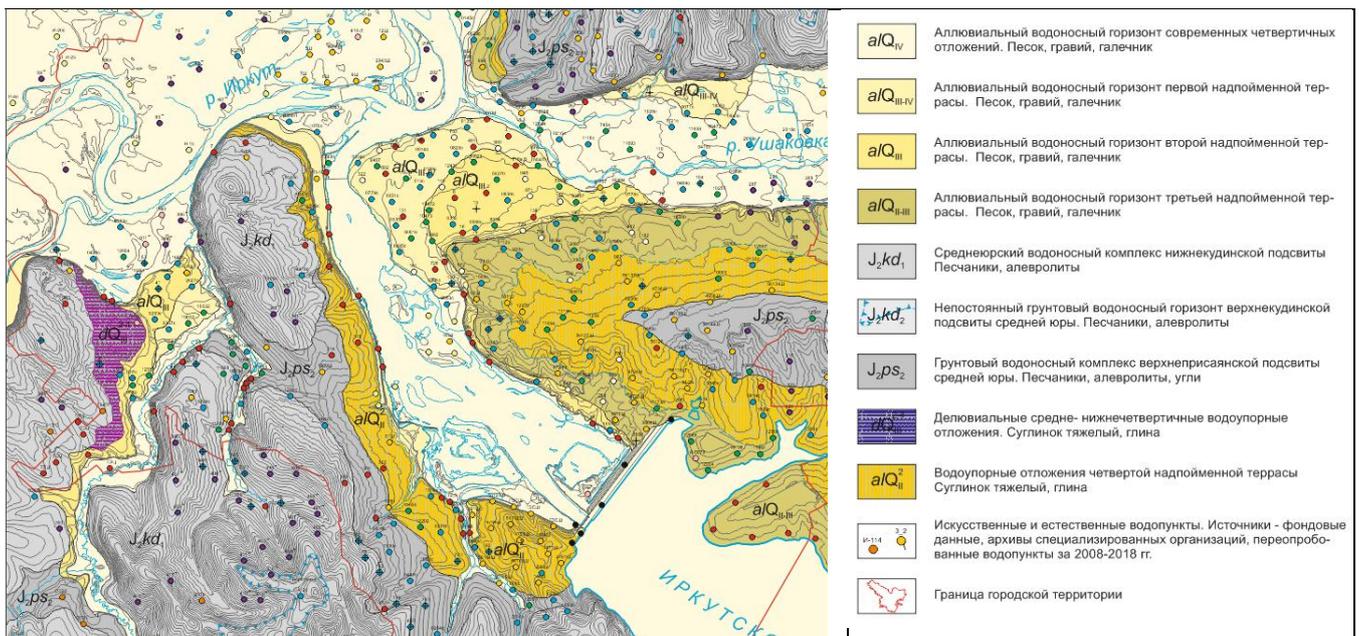


Рис. 1. Фрагмент гидрогеологической карты Иркутской территории

ная гидродинамическая информация по обозначенной территории в сравнении с новыми данными последних десятилетий имеет маркеры, характеризующие подъем уровня поверхности подземных вод. Гидрогеологический процесс, протекающий в условиях наращиваемого техногенного воздействия, привел к постепенному расширяющемуся подтоплению застроенных территорий. Он относится к числу деструктивных и оценивался ретроспективно с учетом собранных актуальных данных. Анализ данных показал, что подтопление как результат искусственного нарушения естественного режима подземных вод ранее не упоминается. До начала XX века сезонный подъем уровня, обусловленный инфильтрацией атмосферных осадков, не приводил к подтоплению. Дополнительное питание искусственного происхождения в формировании уровня было минимальным из-за малого водопотребления, а городское водоотведение происходило на рельеф и через фильтрующие выгребы, исключая заметную локально-аномальную инфильтрацию на уровень грунтового потока. Выравниванию инфильтрации по площади способствовал усадебный тип застройки и полное отсутствие твердого покрытия. 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 течение длительного времени происходили и продолжают до сих пор существенные изменения. Вертикальная

планировка, изначально направленная на засыпку переувлажненных замкнутых понижений, со временем распространилась на всю обжитую городскую территорию, особенно в прибрежной полосе р. Ангары. В результате этого масштабного перемещения грунтовых масс мощность зоны аэрации возросла на 1,5-2,5 м, а в береговой полосе - до 7 м. Увеличение мощности зоны аэрации значительно повысило потенциал подтопляемости правобережной центральной части города. Примером служит возведение авиазавода на левобережье р. Ангары с жилым поселком, промзоны и селитебного сектора, сопровождавшееся более глубоким использованием геологической среды, чем на правом берегу Ангары. Застраивалась площадка третьей надпойменной террасы с залеганием грунтовых вод более 4 м, где восполнение ресурсов происходит преимущественно при инфильтрации атмосферных осадков на площади распространения водоносного горизонта. Непосредственное питание обусловлено небольшой мощностью (< 6 м) и преимущественно песчаным составом зоны аэрации. Эти обстоятельства в будущем привели к подъему поверхности грунтовых вод. Уже на старте территория, расположенная на третьей надпойменной террасе, являлась потенциально уязвимой по подтоплению.

Гидрогеологическая обстановка оставалась практически неизменной вплоть до 1955 г. На правобережье обнаружился радиально-расходящийся грунтовый поток мысового окончания Ангаро-Ушаковского междуречья (рис. 2). Радикальные изменения произошли

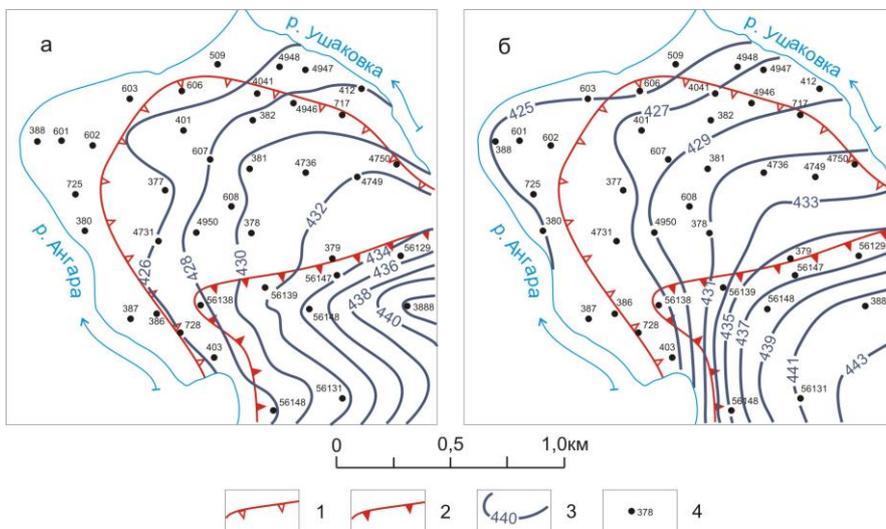


Рис. 2. Гидроизогипсы грунтового потока аллювиальных отложений на мысовом окончании Ангаро-Ушаковского междуречья

а – в 1955 г., б – в 1959 г.; 1-2 – цокольные уступы второй и третьей террас; 3– гидроизогипса, абс.отм.; 4– скважина

сразу же по завершении строительства Иркутской ГЭС на правобережье, где обходная фильтрация в

правом примыкании плотины привела к обводнению сухих галечников среднего комплекса террас и приподняла на 1 м зеркало грунтового потока в отложениях низкого комплекса. Изменение условий в нижнем бьефе не способствовало подтоплению застроенной территории, а в верхнем бьефе напор над кровлей техногенного водоносного горизонта третьей надпойменной террасы стимулировал капиллярный подъем влаги в перекрывающей толще делювиальных суглинков. Мощность капиллярной каймы приблизилась к 8-9 м, что повысило опасность подтопления береговой полосы водохранилища шириной до 700-800 м. На левобережье Ангары зарегулированность стока проявилась в снижении пиковых подъемов уровней половодий, паводков и зимних зажоров, после чего подтопление в пос. Боково и Жилкино практически исчезло. Однако продолжительные (до 20-60 сут) стояния уровней воды от попусков из водохранилища (высотой до 1-3 м) вызвали подпор до цокольного уступа второй надпойменной террасы, к чему в значительной степени располагает малый уклон (0,001) базовой поверхности грунтового потока. В условиях г. Иркутска к естественным режимоформирующим факторам добавляются факторы искусственного происхождения. Наибольшее 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) сопровождались 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.). Потери из тепловых сетей оцениваются в 25%.

Дополнительно к утечкам холодной и горячей воды следует добавить протечки из канализационной системы. Таким образом, дополнительное техногенное питание достигает зеркала грунтовых вод, минуя при этом фазу формирования верховодки. Сезонные утечки создает также ливневая канализация, особенно на технически изношенных участках. Подобная ситуация свойственна территории, занимаемой историческим центром города, где вершины гидродинамических куполов находятся на глубине до 0,5 м.

Подъем уровня подземных вод поверхности возможен и без участия техногенного питания, а исключительно за счет барражирования грунтового потока. На правобережье Ангары плотинный эффект оказывают затопленные подземные инженерные сети совместно с грунтами обратной засыпки, свайные поля, технические этажи зданий, заглубленных ниже уровня подземных вод, облицованные набережные. 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 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.

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 подъему зеркала грунтовых вод от 10-11 м в 1955 до 1 м к 2010 г (рис. 3). Подъем зеркала грунтовых вод выразился в

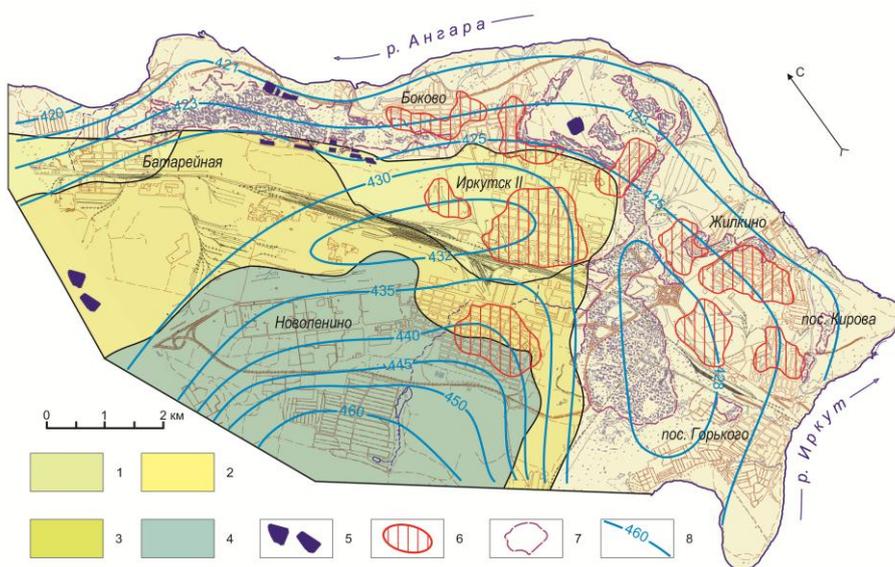


Рис. 3. Гидроизоги́псы грунтового потока четвертичных и юрских отложений на левобережье р. Ангары

1– пойма; 2– II терраса; 3– III терраса; 4– коренной склон; 5– отстойники; 6– подтопленные участки; 7– заболоченные участки; 8– гидроизогипса в абс. отм.

повсеместном примерно равном повышении базовой поверхности и локальном куполообразовании. Этим объясняется пространственная разобщенность под-

топленных площадей, число которых к 2000 г. достигло во II Иркутске 4 и в настоящий момент еще больше.

ГЛАВА 4. КАЧЕСТВЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД. Территория города в гидрогеохимическом отношении изучена относительно хорошо, наибольшая плотность опробованных водопунктов размещается в верхней части гидрогеологического разреза до глубины 200-300 м. Природный химический состав подземных вод сформировался в естественной обстановке, для которой характерна вертикальная и горизонтальная гидрохимическая зональность. Вертикальная зональность выражается в изменении химического состава и минерализации подземных вод, а горизонтальная - изменении минерализации воды в пределах одного химического типа. Полученный новый фактический материал позволил уточнить и детализировать гидрохимический разрез, выделить в нем три пояса. Сверху вниз первый пояс формируют пресные воды в границах города с

минерализацией до 0,1 г/л ультрапресные гидрокарбонатные натриевые, кальциево-натриевые; 0,3-0,6 г/л гидрокарбонатные кальциево-магниевые, магниевые-кальциевые; 0,3-1,0 г/л гидрокарбонатные натриевые. Второй пояс - соленоватые хлоридные натриевые воды с минерализацией 1-10 г/л. Третий пояс - соленые хлоридные натриевые воды с минерализацией более 10 г/л. (рис. 4). Мощность пояса пресных вод не превышает 220 м, а

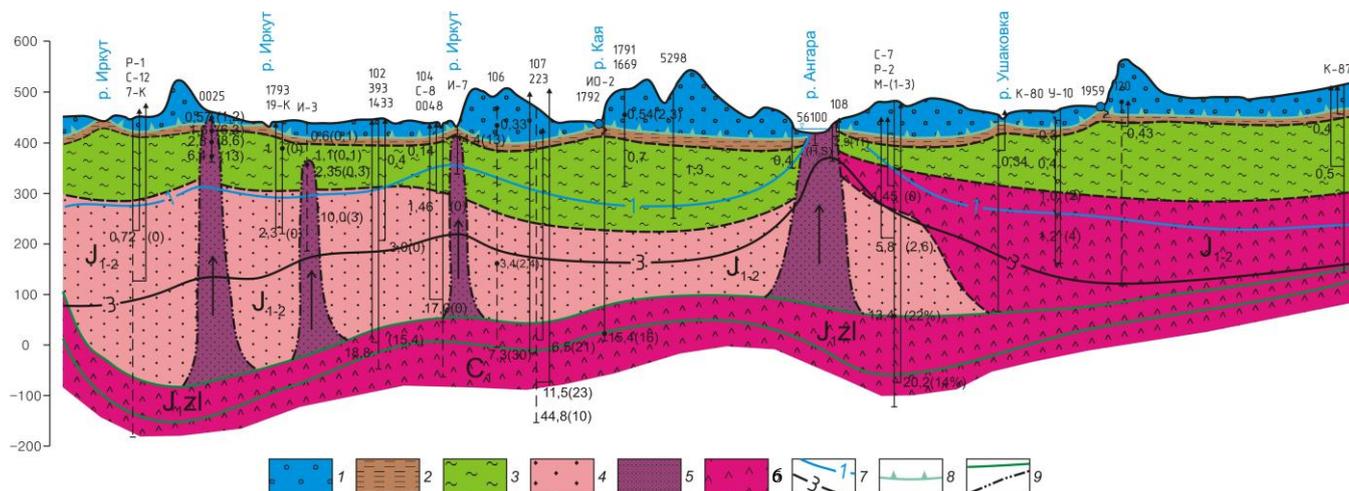


Рис. 4. Гидрогеохимический разрез территории г. Иркутска

Химический состав воды: 1– $\text{HCO}_3\text{Ca-Mg}$; 2– $\text{HCO}_3\text{Ca-Mg}$ (железистые); 3– HCO_3Na (содовые); 4– ClNa (безсульфатные); 5– SO_4Cl (сероводородные); 6– SO_4ClNa ; 7– изогалины; 8– граница глеевого горизонта; 9– границы литологических подразделений (сплошная), элементы гидрогеохимической стратификации (прерывистая)

на участках подтока соленых вод (долины р. Ангары и Иркуты) по тектоническим ослабленным зонам она снижается до 30-35 м. Структура пояса пресных вод в пределах городской территории определяется условиями формирования соленоватых 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 соленоватыми водами практически горизонтальная и соответствующие пояса обладают максимальной мощностью. В долинах рек Ангары и Иркуты, заложенных по тектонически ослабленным зонам, осуществляется активный вертикальный подток минерализованных вод, резко сокращается мощность пояса пресных вод, причем на локальных участках они могут вообще отсутствовать.

Гидрохимический разрез юрских и четвертичных отложений в границах города отличает вертикальная зональность по величине минерализации. В верхней части разреза залегают пресные гидрокарбонатные воды, натриевые внизу, кальциево-магниевые сверху. Гидрогеохимические границы подразделений субгоризонтальны и преимущественно контрастны, и только в днищах долин рек Ангары и Иркуты 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. Гидрокарбонатные воды неоднородны по катионному составу, что выражается 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, а также по микрокомпонентному комплексу. В свою очередь различие формируют множественные подтипы в гидрогеохимической типизации, что отражается пестротой на гидрогеохимической карте.

Анализ массива гидрогеохимических данных по Иркутской агломерации свидетельствует о наличии техногенной компоненты в наиболее хозяйственно освоенной части

территории. В этих пределах загрязнение 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 процесса целиком определяется геохимическим и фильтрационным полями области фильтрации грунтового и влиянием субнапорного водоносного горизонта. По характеру распространения поллютантов в исследованных границах существуют дискретно-площадное, локальное и точечное загрязнение. Наиболее яркими изученными примерами источников техногенного загрязнения подземных вод по обозначенному подразделению можно выделить правобережные очистные сооружения с площадками отвалов снега, городскую свалку твердых бытовых отходов, левобережное нефтехранилище, золоотвал и промплощадку Новоиркутской ТЭЦ.

Очистные сооружения, иловые площадки, полигон твердых бытовых отходов и свалки снега являются основными источниками загрязнения грунтовых вод аллювиальных четвертичных отложений низкой и высокой пойм в правобережной части города. Подземные воды коренных отложений, залегающие под грунтовым потоком, на большей части данной площади свободны от загрязнения. В районе влияния очистных сооружений (рис. 5) по величине минерализации грунтовых вод выделяются две разновеликие, вложенные друг

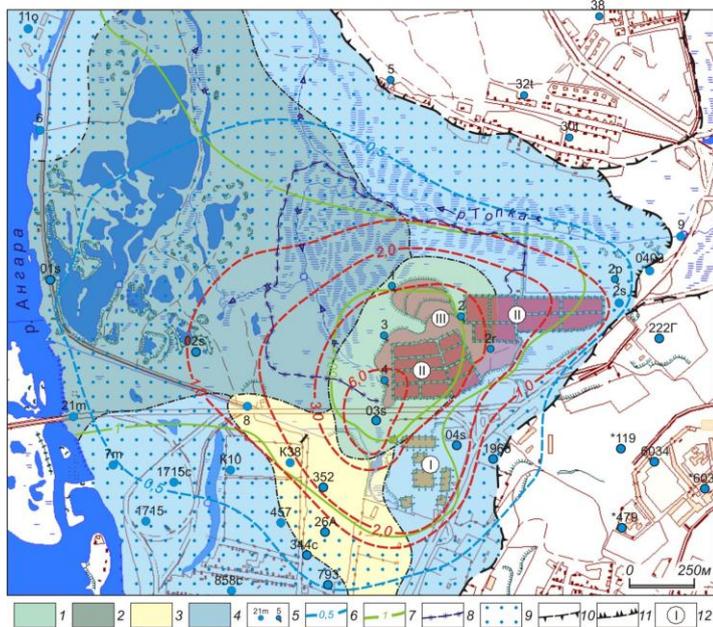


Рис. 5. Гидрогеохимическая обстановка в районе правобережных очистных сооружений

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 NH₄, мг/л; 8— плавающие границы снегоотвала; 9— площадь 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

в друга и концентрически смещенные зоны: высокой (1-6 г/л) и низкой (>1 г/л) минерализации. Наиболее высокая минерализация (3-6 г/л) свойственна водам гидрокарбонатного аммониевого состава. Остальные химические типы (подтипы) — гидрокарбонатный, хлоридно-гидрокарбонатный и сульфатно-гидрокарбонатный с величиной минерализации тесной связи не имеют. Помимо минерализации, устойчивым критерием загрязнения грунтовых вод здесь 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.

Сложная техногенная обстановка на производственной площадке ТЭЦ обусловлена структурой водного баланса на различных этапах эксплуатации такого крупного объекта, состоящего из производственной площадки, прудов-отстойников, золоотвала, градирен, систем водоотведения. Действующий золоотвал (рис. 6) как пример крупного источника негативного воздействия является фильтрующим сооружением с постоянно меняющимся

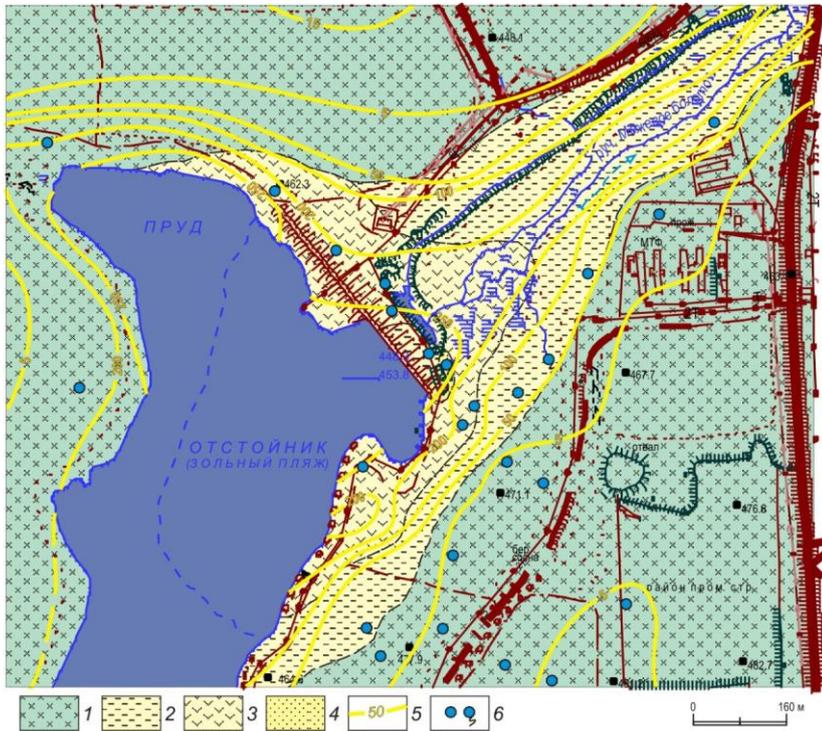


Рис. 6. Фрагмент гидрогеохимической карты (приплотинный участок золоотвала Ново-Иркутской ТЭЦ) *Химический состав подземных вод:* 1- гидрокарбонатный; 2- сульфатно-гидрокарбонатный; 3- гидрокарбонатно-сульфатный; 4- карбонатно-сульфатный; 5- изолинии концентрации сульфатов, мг/л; 6- водопункты

расходом фильтрационного потока и химическим составом воды, убедительно показал вносимую компоненту в виде образования техногенного водоносного горизонта гидрокарбонатно-сульфатного состава. Содержание сульфатов в отдельных опробованных водопунктах достигает 160-200 мг/л при общей минерализации воды в 0,4 г/л. Ряд компонентов химического состава подземных вод в границах объекта контролируется постоянно, позволяя тем самым отслеживать происходящие изменения и процесс во временной срезке. Благодаря этим данным вполне ясно на настоящий момент, что сульфаты, фтор, никель, медь заметно превышают ПДК, создавая известную экологическую опасность для природной гидрогеологической обстановки. Нужно отметить, что оказываемое влияние техногенного объекта на подземные воды пространственно весьма ограничено, что частично растягивает процесс загрязнения, делая его тем самым менее заметным.

Наиболее масштабной по гидрогеохимическому преобразованию видится антропогенная метаморфизация подземных вод в результате возведения Иркутской ГЭС. Изменения коснулись грунтовых вод: произошло глубокое их опреснение и улучшение качества состава (рис. 7, 8). Смена гидрогеохимического облика подземных вод отложений низкого комплекса террас произошла под влиянием обходной фильтрации [Шенькман, 1996]. 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. 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.

Масштабные и довольно интенсивные преобразования гидрогеохимической обстановки Иркутской территории за последние 50-60 лет не снижаются. В порядке наибольшего получаемого прессинга выстраивается ряд: грунтовые воды аллювиальных четвертичных отложений первые, "подвешенные" водоносные горизонты вторые, и грунтовые воды зоны насыщения последние. *Подземные воды аллювиальных четвертичных отложений* в черте города находятся под сильным антропогенным воздействием, так как используются активно в секторе индивидуальной застройки. Высокая относительно естественного фона концентрация фосфора (полифосфатов) и элементов азотной группы характеризует процесс загрязнения в хозяйственной сфере. В подземных водах постепенно нарастает минерализация, в заметных количествах появляются хлориды и сульфаты.

Подземные воды юрских отложений зоны аэрации в наибольшей степени подвержены техногенному воздействию в районах индивидуальной застройки. Это наиболее старые части города, бывшие предместья, участки без реализованной центральной

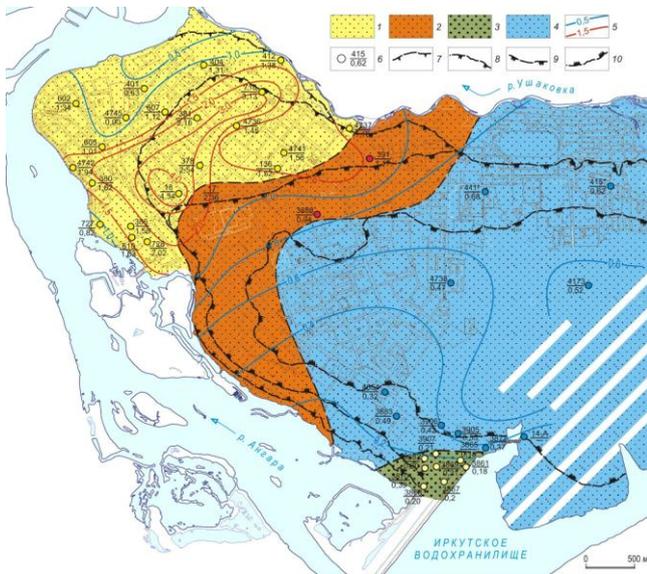


Рис. 7. Фрагмент схематической гидрогеохимической карты аллювиальных отложений правого берега р. Ангары на момент 1960^хгг. [по мат. Шенькмана Б.М. (2006 г.); Крикционаса В.К. (1956-58 гг.); Филюка А.Г. (1959 г.); Никанорова Ф.Я. (1960 г.)]

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

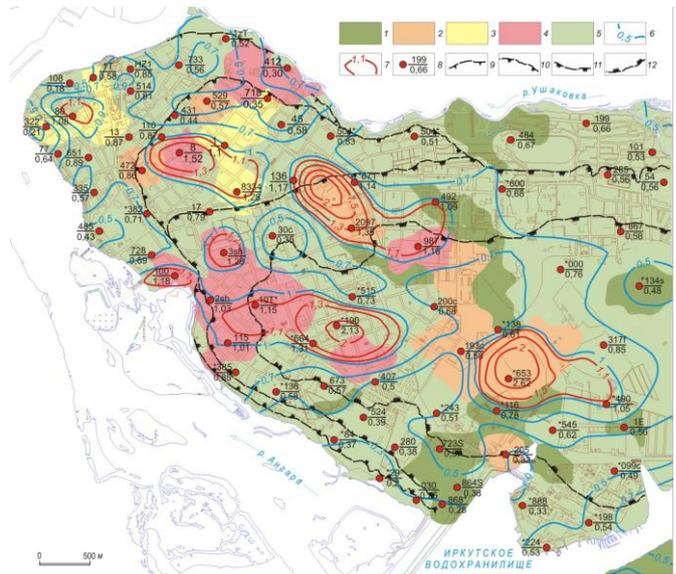


Рис. 8. Схематическая гидрогеохимическая карта состояния подземных вод отложений правого берега р. Ангары на момент 2000-2010 г.

1-5 – химический состав воды: 5- гидрокарбонатный магниево-кальциевый; 2– сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный магниево-кальциевый; 3– сульфатно-гидрокарбонатный магниево-кальциевый; 1- гидрокарбонатный кальциево-магниево; 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

канализации и водоотведения. Антропогенное влияние фиксируется в изменении состава воды и минерализации в целом (до 3-5 раз выше фона). В воде обнаружены сульфаты и нитраты, которые вне области активного антропогенного воздействия обладают очень низкой концентрацией. Особенно сильно загрязнены "подвешенные" горизонты в предместьях Радищева и Кузьмиха, где по оценкам предыдущих исследований (Шенькман Б.М., 1993 г.) на момент опробования родников фиксировалось близкое по своему уровню загрязнение в водопунктах. Набор веществ преимущественно азотной группы свидетельствует об основном источнике загрязнения - выгребных ямах и поступлений из приусадебных участков. На это также указывает высокое содержание в воде фосфора, представленного в основном полифосфатами. В районах многоэтажных новостроек "подвешенные" горизонты находятся в начальной стадии загрязнения. Здесь увеличилась лишь минерализация воды (застройка мкр. Топкинского, Университетского). Подземные воды зоны аэрации в пределах многочисленных садоводств существенно загрязнены, где от использования химических удобрений происходит активный вынос веществ, стимулирующийся обильным поливом. В границах садоводств компонентом загрязнения становится нитратный азот (более 1,5 ПДК). Наблюдения показывают медленный рост концентраций фосфора и калия с расширением существующих пятен активного загрязнения.

Уровень загрязнения *грунтового водоносного горизонта юрских отложений* зоны насыщения зависит непосредственно от типа и мощности источника загрязнения. Благодаря защитным свойствам алевролитовой толщи юрских пород в разрезе, условное загрязнение ослабевает уже на уровне зоны аэрации. Анализ имеющихся материалов показывает слабую корреляцию глубины залегания подземных вод с интенсивностью их химического загрязнения. Этот факт 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. Участки в зоне индивидуальной и промышленной застройки в Марата, Радищево, Рабочее, Новоленино и Сергиев Посад имеют признаки техногенного воздействия, поскольку юрские отложения здесь активно используются в качестве источника водоснабжения. Оказываемое воздействие 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 количестве 0,5-1,5 ПДК. В местах, где зона аэрации обладает большой мощностью и связанным с этим напрямую высоким защитным потенциалом, источники сильного техногенного воздействия не оказывают заметного влияния на зону насыщения ниже. Промышленная зона имеет свой уровень загрязнения, где под объектами подвержена наиболее сильному техногенному воздействию. Контрастно проявилось и продолжается ухудшение качества подземных вод за счет химического загрязнения. Установленные границы загрязнения подземных вод совмещаются с конкретными источниками, 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. 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 гг., постепенно ухудшается. Пробы воды из водопроводной сети до 9-11% случаев не соответствуют нормам по микробиологическим и санитарно-химическим показателям. Основными причинами загрязнения источника Иркутского водохранилища являются техногенное воздействие, оказываемое строительством микрорайонов на его берегу, садоводческими, дачными и коттеджными поселками вдоль Байкальского тракта, а также нарастающее использование самой акватории. Альтернативный источник со значительными ресурсами пресных вод, представляющий интерес для крупного города как водопотребителя, связан с четвертичными отложениями и породами юрского возраста. В черте Иркутска в этих отложениях ранее были обнаружены и разведаны несколько месторождений пресных подземных вод промышленного типа, пригодные для использования в централизованном водоснабжении – Ушаковское и Иркутское. Настоящая возможность привлечения подземных вод от источников для водоснабжения ограничивается некоторыми обстоятельствами. По месторождениям с утвержденными запасами истек 25-летний балансовый срок, а в границах зон санитарной охраны проектных водозаборов произошли существенные изменения. Кроме этого, принятые при разведке месторождений схемы эксплуатации водозаборов не отвечают современным техническим возможностям и нуждаются в пересмотре решений.

Ушаковское месторождение подземных вод было разведано в долине р. Ушаковки, в днище и в основании правого склона которой фиксировались крупные геофильтрационные аномалии по скважинам, удельная производительность которых доходила до 5-21 л/с (рис. 9). Качество подземных вод при эксплуатации оказалось неудовлетворительным по содержанию марганца, закисного и общего железа, в 8-10 раз превышавшим ПДК. Для централизованного водоснабжения это предполагало дорогостоящую водоподготовку с железозудалением и деманганацией. Сведения о железе и марганце полностью подтвердились эксплуатацией части месторождения при водоснабжении пос. Зеленый. На стадии детальной разведки (в 1970-1971 гг.) было пройдено несколько кустов скважин, вскрывших на месторождении два автономных водоносных горизонта юрских отложений – грунтовый и напорный. При откачке из напорного горизонта удельный дебит был стабилен по величине с незначительными изменениями, а при водоотборе из безнапорного горизонта с увеличением понижения удельный дебит уменьшался. В ходе опытных работ было уста-

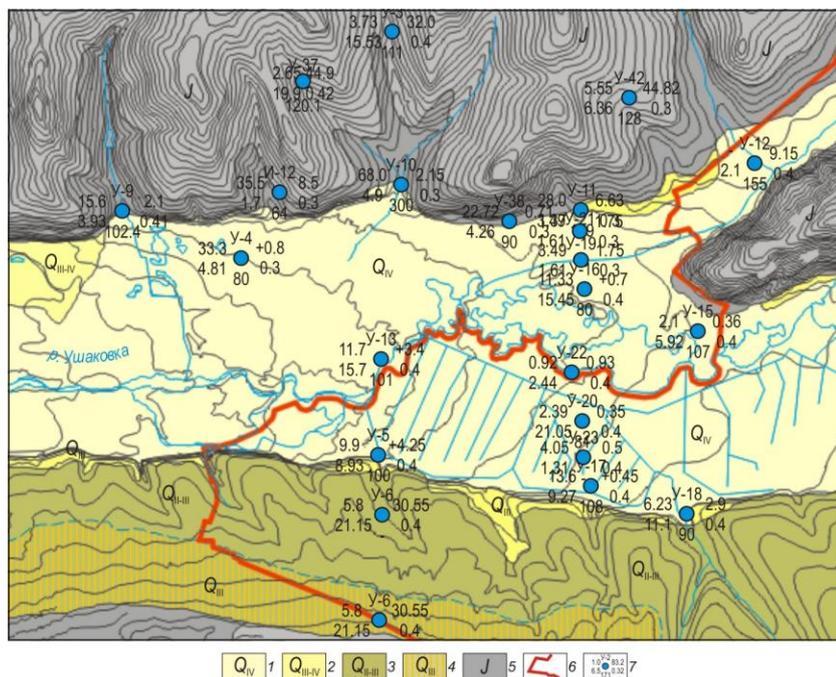


Рис. 9. Общая схема Ушаковского месторождения подземных вод 1-5- отложения террас и поймы; 5- коренные породы юры; 6- граница города Иркутска; 7- разведочные скважины Ушаковского месторождения: сверху номер скважины, внизу глубина в м, слева в числителе дебит в л/с, в знаменателе понижение в м, справа в числителе уровень воды в м, в знаменателе минерализация воды в г/л

новлено, что в нарушенных условиях три водоносных горизонта взаимодействуют, при этом в грунтовой водоносный горизонт происходит нисходящий и восходящий переток 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. Эксплуатация водозаборных скважин Ушаковского месторождения обнаружила наличие закисного железа в количестве, превышающем ПДК в 8-10 раз и более. Анализ материалов показал, что грунтовой 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 (Fe^{2+}), отсутствие кислорода, повышенная концентрация диоксида углерода (CO_2) и NH_4 , присутствие сероводорода. В отличие от верхней подзоны, для глеевого горизонта характерна восстановительная обстановка. Поэтому в условиях нарушенного режима, особенно при переуглублении скважин, к водоприемной части подтягиваются пресные гидрокарбонатные щелочноземельные некондиционные по железу и марганцу глеевые воды.

Данные гидрогеохимического опробования нескольких частных скважин в условиях месторождения с учетом глубины пробоотбора обозначили границу раздела между кислородными безжелезистыми и обескислороженными железистыми водами, находящуюся на глубине примерно 35-36 м. Из результатов опытных работ также следует, что при гидродинамическом возбуждении скважин железо представлено исключительно в закисной форме, т.е. подток глеевых вод происходит быстрее кинетического процесса окисления железа. Все это вполне доказывает существование подзоны гидрокарбонатных кислородо-содержащих вод. После длительной остановки работы водозаборных скважин отмечается восстановление зоны кислородных вод при отсутствии восходящего перетока. Так нижняя граница «нулевой» кислородной поверхности залегает на глубине примерно 40-45 м, при этом мощность зоны кислородных вод не превышает 25-30 м. Можно предположить, что обследованные эксплуатационные скважины при проходке были переуглублены на 15-20 м и конструктивно сооружались без учета гидрогеохимических условий месторождения. Опыт исследований прошлых лет (предварительной и детальной разведки) Ушаковского месторождения не был учтен до настоящего времени, что подтверждается имеющейся актуальной информацией по частным водозаборам в обозначенных границах.

Некондиционность подземных вод вынуждает отказываться от эксплуатации подземных вод месторождения. Из-за необходимости обезжелезивания и деманганации возникает необходимость использовать сложные технические решения: вода должна про-

ходить водоподготовку, аэрироваться, обрабатываться коагулянтами и потом только после фильтрации сможет подаваться потребителю. Способ трудоемкий и весьма затратный, альтернативой которому предлагается обеспечить водоподготовку в пласте, когда окислитель подается в водоносный горизонт с созданием вокруг эксплуатационного каптажа искусственного геохимического барьера [Алексеев, 1984]. Использование технологии пластового обезжелезивания и деманганации с реализацией схемы геохимического барьера непосредственно в пласте в естественном виде исключает огромные капитальные затраты. Реализации схемы пластовой очистки способствует 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 вскрыт множеством скважин по городу и окрестностям. Водоносный горизонт относится к “неограниченному” пласту 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. Поэтому задачей при обустройстве водозаборных сооружений будет подвод железомарганцево-содержащих вод к такому естественному барьеру для взаимореакции смежных горизонтов (рис. 10). Когда возмущение водоносного комплекса и напорного горизонта отсутствует – они гидравлически автономны. На глубине отбора пробы воды в 26 м содержание железа достигает 12

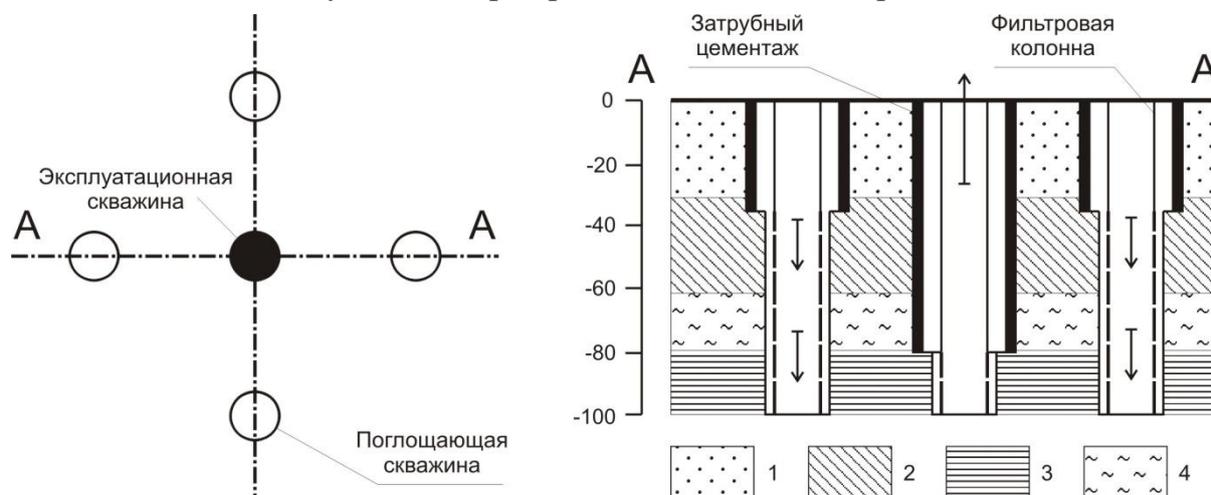


Рис. 10. Принципиальная схема водозабора с обезжелезиванием и деманганацией подземных вод в пластовых условиях на Ушаковском месторождении

1 – зона аэрации; 2 – безнапорный водоносный комплекс; 3 – напорный водоносный комплекс; 4 – разделительный слой низкой проницаемости

мг/л и марганца в 1,06 мг/л, а при глубине в 31 м железо в воде уменьшается до 0,02 мг/л, марганец до 0,01 мг/л. При нарушенном режиме усиливается межпластовый водообмен, направленность которого регулируется возмущением водоносного комплекса и напорного горизонта. Такое межпластовое взаимодействие можно существенно усилить, обеспечив прямой доступ глеевых вод к содовым. Для этого предлагается способ совместной эксплуатации двух этажно расположенных горизонтов с забором воды из нижнего. Откачка воды из напорного горизонта в условиях искусственного объединения обоих пластов приведет к изменению гидрогеохимической обстановки. Железистые и марганцевосодержащие воды на щелочном барьере освобождаются от Fe и Mn в виде гидрооксидов до уровня ниже ПДК. Вода 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.

Иркутское техногенное месторождение подземных вод находится в береговой полосе Иркутского водохранилища и протягивается линейно от юго-восточной окраины г. Иркутска. После образования водохранилища ГЭС подпорный уровень воды был выше на 14 м кровли галечников третьей надпойменной террасы, благодаря чему отложения были обводнены и, тем самым, сформировался напорный водоносный горизонт (рис. 11). Контур



Рис. 11. Схема Иркутского месторождения пресных подземных вод

1– водоносный горизонт III надпойменной террасы; 2– водоносный горизонт присаянской подсытки юры; 3– непостоянный водоносный горизонт кудинской свиты юры; 4– контур водоупорных отложений V террасы; 5– контур водоупорных отложений IV террасы; 6– контур затопленных отложений третьей террасы; 7– скважины; 8– граница г. Иркутска

питания горизонта находился под уровнем водохранилища, а крутая бровка террасы отстояла от уреза акватории на 200-400 м. Водоносный горизонт имеет значительную протяженность по береговой полосе, разделяясь на четыре участка: Солнечный, Молодежный, Лисихинский и Патроновский. На месторождении по выполненным разведочным работам с 1963 г. была подтверждена перспективность водоносного горизонта в качественном и количественном отношении: минерализация воды составляла 0,3-0,4 г/л, по химическому составу была гидрокарбонатной магниево-кальциевой и бактериологически чистой. Показатели качества воды выгодно отличали ее от воды водохранилища. Эксплуатационные запасы Иркутского месторождения оценивались по четырем участкам и были поставлены на государственный баланс, однако возведение запроектированных водозаборных сооружений так и не было начато. Финальная расчетная схема водозабора на месторождении представляла линейный ряд скважин длиной около 15 км с 5 докерами через заливы с последующим вводом коллектора в магистральный водовод для потребления. Выбранная схема оказалась неприемлемой с технико-экономической точки зрения и стала в дальнейшем неконкурентной относительно поверхностного водозабора с водохранилища. Так крупное месторождение подземных вод, не требующих на период разведки никакой водоподготовки, было в буквальном смысле заброшено. Срок его нахождения на государственном балансе истек в 2000 г., а эксплуатационные запасы сняты с учета.

Проанализировав по 4 участкам данные более 110 скважин, дающих представление о морфологических особенностях водоносного горизонта (рис. 12), перекрывающей его

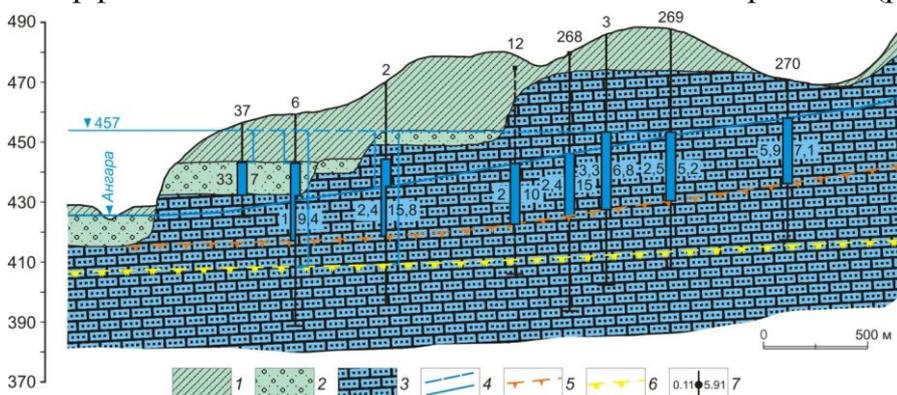


Рис. 12. Гидрогеологический разрез участка Иркутского месторождения подземных вод 1- суглинки; 2- галечниковые отложения; 3- песчаники, алевролиты; 4- уровень подземных вод; 5- подошва грунтового горизонта; 6- кровля напорного горизонта; 7- скважина, слева дебит (л/с), справа понижение (м)

водоупорной толще и о контуре питания горизонта, видится достижимым реализовать месторождение в качестве дополнительного источника водоснабжения для городского хозяйства даже в реалиях современных условий. Ширина водоносного горизонта

варьируется от 0,7 до 2,7 км, мощность водовмещающего слоя достигает 10,5 м, уменьшаясь в сторону тыльного шва террасы. Глубина залегания подземных вод по скважинам составила 9-25 м с напором над кровлей пласта в 10-14,7 м. По собранным данным отмечается чрезвычайно высокая водообильность горизонта и пространственная неоднородность. Имеется существенный разброс дебита ($> 8-10$ л/с) на графике (рис. 13) по скважинам, которые находятся на расстоянии до 450 м от контура питания водоносного

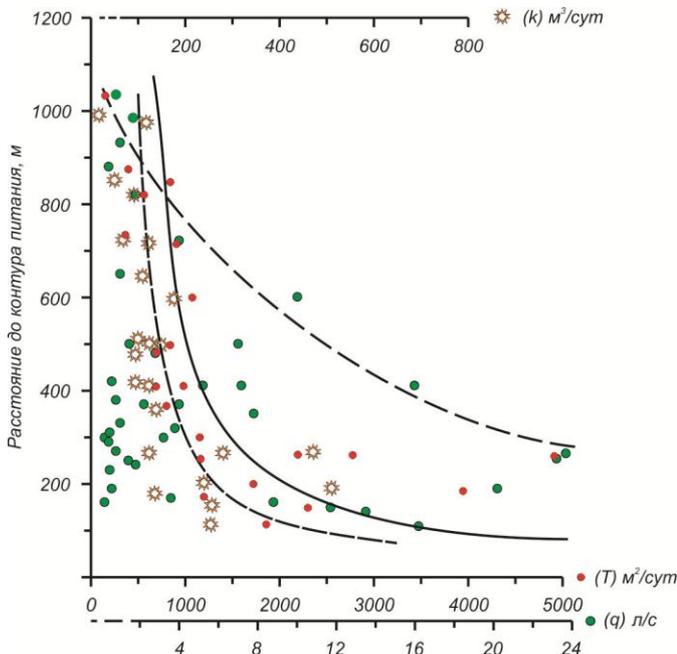


Рис. 13. Изменение величины удельного дебита (а), коэффициента фильтрации и водопроводимости (б) в зависимости от расстояния до контура питания

горизонта. Одновременно удельный дебит большого числа скважин ниже 4 л/с, расположенных на том же расстоянии. После удаления выработок более чем на 600 м от береговой полосы этот параметр становится менее 2 л/с. Режим снижения уровня воды при откачках соответствует условию неограниченного пласта, при этом отсутствует дополнительное гидравлическое сопротивление, ухудшающее условия водопритока к выработкам. Результаты исследований позволяют заключить, что целевой горизонт получает свое основное питание из

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. Это вполне понятно, так как наибольшие напоры 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 водопроводимость от 900 до 4900 м²/сут. Вполне очевидно, что реальные гидрогеологические условия позволяют соорудить компактный водозабор с отличной водоотдачей на любом из доступных участков территории. При рассмотрении крупного проекта городского водоснабжения за счет Иркутского месторождения отмечалась его неконкурентоспособность относительно поверхностного водозабора, но это было определено исключительно неудачной схемой исполнения самого водозабора. Чтобы получить заявленную производительность, не следовало растягивать водозабор на 10-15 км. Наилучшим решением видится вместо линейного ряда эксплуатационных скважин реализовать проходку выработки большого диаметра в полосе аномальной водопроводимости. Шахтный колодец с системой горизонтальных скважин приемлемой перфорации (многолучевой водозабор) в оценочном приближении обеспечит даже крупную потребность в воде, удовлетворив всем требованиям, предъявляемым к подземным источникам централизованного водоснабжения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований было установлено, что интенсивное освоение Иркутской агломерации оказало значительное влияние на подземные воды. Техногенная компонента, активно вносимая человеком в течение последних 60 лет, выразилась в изменении гидрогеодинамических, гидрогеотермальных и гидрогеохимических условий. Отмечается поднятие уровня 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 ряда веществ. Произшедшим изменениям способствовали в ряде случаев благоприятные общие физико-географические и геолого-гидрогеологические условия.

Антропогенное влияние распространилось практически по всей территории города и прилегающих районов в разной степени. Интенсивность процессов не одинакова по площади и глубине распространения, о чем можно судить по измененной минерализации, содержанию в подземных водах ряда характерных макрокомпонентов состава - сульфатов, нитритов, нитратов, фосфатов, калийных соединений и других типичных элементов загрязнения. 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 прогрессирующее загрязнение. 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 городской территории показал, что несмотря на сложную текущую эколого-гидрогеологическую обстановку на территории сосредоточены большие запасы подземных вод, которые можно реализовать в целях водоснабжения городского хозяйства. Значительный ресурс содержится в напорном водоносном горизонте аллювиальных отложений третьей надпойменной террасы на правобережье Иркутского водохранилища (бывшее Иркутское техногенное месторождение) и в юрских отложениях по долине р. Ушаковки (бывшее Ушаковское месторождение). По участкам Иркутского месторождения рассмотрена возможность проектировать водозабор по более эффективной схеме с образованием меньшей зоны санитарной охраны, а реализация технологии пластового кондиционирования подземных вод на Ушаковском месторождении послужит основанием его реабилитации в качественном отношении.

Результаты выполненного исследования 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. Рассмотренные месторождения подземных вод и практические решения по их эксплуатации могут служить основой для изысканий дополнительных источников водоснабжения в пределах г. Иркутска.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах (из рекомендованного перечня ВАК):

1. Шенькман Б.М., Шолохов П.А., Шенькман И.Б. Подтопление Иркутска грунтовыми водами // География и природные ресурсы, №2, 2011. – с. 54-61
2. 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
3. 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
4. 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
5. 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

Материалы основных докладов и тезисов:

1. Шолохов П.А. К вопросу об изучении подземных вод промышленно-урбанизированных территорий // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России

- и сопредельных странах - Материалы IV Международной научной конференции. – Белгород: БелГУ, 2010. – с. 214-216
2. Шолохов П.А. Подземные воды на территории г. Иркутска // Природа и общество: взгляд из прошлого в будущее - Материалы XVII науч. конф. молодых географов Сибири и Дальнего Востока. – Иркутск: ИГФ СО РАН, 2011. - с. 185-186
 3. Шолохов П.А. Использование подземных вод на территории города Иркутска // Комплексные проблемы гидрогеологии – Материалы науч. конф. – Санкт-Петербург: СПбГУ, 2011. – с. 141-142
 4. Шолохов П.А. Оценка техногенного изменения подземных вод района города Иркутска // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: Труды Всероссийской научной конференции с международным участием – Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2012. - с. 177
 5. Шолохов П.А. Особенности гидрохимии подземных вод района г. Иркутска // Подземная гидросфера: Материалы Всероссийского совещания по подземным водам востока России – Иркутск: Изд-во ООО “Географ”, 2012. – с. 156-159
 6. Sholokhov P.A. Hydrogeological environment in the agglomeration area of Irkutsk // The 6th International Siberian Early career geoscientists conference: Proceedings of the Conference. – Novosibirsk: IGM & IPPG SB RAS, 2012. – p. 226
 7. Шолохов П.А. Природные факторы формирования родников на территории г. Иркутска // Трофимуковские чтения 2013: Всероссийская молодежная научная конференция с участием иностранных ученых – Новосибирск: ИНГиГ СО РАН, 2013. – с. 581-583
 8. Шолохов П.А. Гидрогеологическая и гидрогеохимическая характеристика родников на территории г. Иркутска // Геодинамика и минерагения Северо-Восточной Азии: IV Всероссийская научно-практическая конференция – Улан-Удэ: ГИН СО РАН, 2013. – с. 389-391
 9. Шолохов П.А. Качественное состояние подземных вод освоенной территории (на примере городской застройки) // Науки о земле. Современное состояние: Всероссийская молодежная научно-практическая конференция – Новосибирск: НГУ, 2014. – с. 302-304
 10. Шолохов П.А. Использование подземных вод в качестве автономного источника питьевого водоснабжения // Фундаментальные и прикладные проблемы гидрогеологии: материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXI Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием) – Якутск: ИМЗ СО РАН, 2015. – с. 543-547
 11. Шолохов П.А. Проблема регулирования качества питьевых подземных вод на примере месторождения в г. Иркутске // Трофимуковские чтения 2015: Всероссийская молодежная научная конференция с участием иностранных ученых – Новосибирск: ИНГиГ СО РАН, 2015. – с. 125-127
 12. Sholokhov P.A. Groundwater quality of the Irkutsk state area // The 8th International Siberian Early Career Geoscientists Conference: Proceedings of the Conference. - Novosibirsk: IGM SB RAS, IPPG SB RAS, NSU, 2012. – pp. 381-383
 13. Шолохов П.А. Геоинформационное обеспечение при использовании подземных вод // Подземные воды Востока России: материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием) – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2018. – с. 553-557
 14. Шолохов П.А. Аспекты использования подземных вод юрских угленосных отложений в качестве источника водоснабжения (на примере г. Иркутска) // Подземная гидросфера: материалы XXIII Всероссийского совещания по подземным водам Востока России с международным участием – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2021. – с. 562-565