

На правах рукописи



Кувыкина Юлия Юрьевна

**ПРОСТРАНСТВЕННО–ВРЕМЕННЫЕ
ГЕОФИЛЬТРАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ГОРНЫХ РЕЧНЫХ ДОЛИН ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ
КАВКАЗА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ
АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ
(НА ПРИМЕРЕ ДОЛИНЫ РЕКИ МЗЫМТЫ)**

Специальность 25.00.07 – гидрогеология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2013

Работа выполнена на кафедре гидрогеологии Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе

Научный руководитель: **Черепанский Михаил Михайлович**, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой гидрогеологии МГРИ-РГГРУ

Научный консультант: **Боревский Борис Владимирович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, генеральный директор ЗАО «ГИДЭК»

Официальные оппоненты: **Зекцер Игорь Семенович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий лабораторией региональных гидрогеологических проблем ИВП РАН

Спектор Сергей Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, директор центра ГМСН ФГУП «Гидроспецгеология»

Ведущая организация: Всероссийский научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии – ФГУП «ВСЕГИНГЕО»

Защита состоится 31 октября 2013 г. в 15 ч. в ауд. 4-73 на заседании диссертационного совета Д 212.121.01 в Российском государственном геологоразведочном университете им. С. Орджоникидзе по адресу: г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ).

Автореферат разослан «27» сентября 2013 г.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просьба направлять по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, ученому секретарю Диссертационного совета Д 212.121.01.

Телефон: (495) 433-65-44 (добавочный 11-60; 12-05)

Ученый секретарь диссертационного Совета Д 212.121.01 кандидат геолого-минералогических наук, доцент



Вязкова О.Е.

Актуальность работы. Интенсивное развитие курортно – санаторного строительства на Черноморском побережье Кавказа и подготовка к проведению зимней олимпиады в Сочи в 2014 г. вызвали рост антропогенной нагрузки на месторождения подземных вод. Строительство в 2010-2013 гг. совмещенной автомобильной и железной дороги Адлер – "Альпика-Сервис", проходящей непосредственно по пойме р. Мзымта, существенно изменило водохозяйственные условия в долине, влияющие на режим работы водозаборов и возможности освоения ранее оцененных и разведанных участков. Столь масштабное строительство не могло не отразиться на условиях формирования и на изменение величины ранее подсчитанных запасов подземных вод, в формировании которых основную роль играет поверхностный сток. Техногенные воздействия на геологическую среду в долине р. Мзымта превысили по интенсивности влияния другие долины побережья, поставив ряд важных задач, направленных на изучение и анализ сложившейся ситуации, и прежде всего, усиления роли коьматации подрусловых отложений.

Вопросами изучения коьматации подрусловых отложений в горных речных долинах посвящено большое количество работ российских и зарубежных гидрогеологов. В представляемой диссертационной работе были продолжены исследования по изучению связи подземных вод с поверхностными на основе данных гидрологического и гидрогеологического мониторинга в условиях интенсивного воздействия антропогенной нагрузки в долине р. Мзымта Черноморского побережья Кавказа, в том числе в условиях «строительной» коьматации. В результате было выявлено прогрессирующее увеличение фильтрационного сопротивления подрусловых отложений в многолетнем разрезе, и впервые выделена «строительная» коьматация.

Цель и задачи исследований. Цель данной работы – разработка пространственно-временных геофильтрационных математических моделей для условий с изменяющейся антропогенной нагрузкой при эксплуатации и интенсивном строительстве на базе изучения опыта эксплуатации действующих водозаборов в долине р. Мзымта, а также уровня режима на неэксплуатируемых участках для оценки величины параметра фильтрационного сопротивления подрусловых отложений и его изменения в пространстве и во времени.

Объект и методика исследований. Объектом исследований являлись горные долины Черноморского побережья Кавказа. Наиболее детально изучена долина р. Мзымты, находящаяся в условиях усиливающейся антропогенной нагрузки в результате техногенного воздействия на русло масштабных строительных работ, которые привели к резкому усилению коьматации подрусловых отложений.

Методика исследований включала анализ и обработку гидрогеологических и гидрологических режимных наблюдений, изучение результатов опытно-фильтрационных работ, опыта эксплуатации действующих водозаборов и сложившегося режима уровней подземных вод на территории их отсутствия, обоснование, разработку математических моделей и решение на них обратных и прогнозных балансовых и гидродинамических задач.

Научная новизна

Усовершенствована классическая типизация долин Черноморского побережья Кавказа по строению геологического разреза В.Г. Тимохина и А.Б. Островского. В связи с тем, что строение геологического разреза меняется не только по протяженности долины, но даже по отдельному участку водозабора, что связано с условиями формирования горного аллювия, дополнительно был выделен переходный подтип с изменяющимся строением разреза по простиранию участка.

В отличие от ранее практиковавшегося отнесения всей долины горной реки к единому месторождению подземных вод (что противоречит общепринятому определению понятия «месторождение»), учитывая четкообразное строение горных долин, предложено выделять месторождения только в пределах четкообразных расширений, доступных для освоения. При таком подходе в пределах единого Мзымтинского месторождения пресных подземных вод были выделены, например, Верхне- и Нижнемзымтинское месторождения. Исходя из этого, в диссертационной работе принципы выделения месторождений в долинах горных рек были изменены.

Впервые разработаны пространственно–временные геофильтрационные модели Верхне- и Нижнемзымтинского месторождений пресных подземных вод, учитывающие не только эксплуатационную кольматацию подрусловых отложений, связанную с работой водозаборов, но и увеличивающуюся во времени «строительную» кольматацию, вызванную интенсивной строительной деятельностью в долине, приводящей к постоянному росту мутности поверхностных вод. В результате происходит существенное ухудшение взаимосвязи подземных вод с поверхностными (особенно в меженный период).

В развитии пространственно-временных моделей выделено несколько временных периодов: природный, природно-антропогенный и эксплуатационно-антропогенный с нормальной и экстремальной антропогенными нагрузками.

Впервые выявлена существенная доэксплуатационная кольматация подрусловых отложений на неэксплуатируемых участках в меженный период, возникшая в результате расширения депрессионной воронки от работы водозаборных сооружений в долине р. Мзымта в связи с ухудшением взаимосвязи подземных и поверхностных вод под влиянием увеличения мутности речных вод.

С помощью разработанных пространственно–временных геофильтрационных математических моделей обоснованы основные исходные данные для проектирования водозаборов с требуемым количеством запасов подземных вод в условиях возрастающей антропогенной нагрузки.

На защиту выносятся следующие защищаемые положения:

1. *В горных речных долинах целесообразно выделять месторождения пресных подземных вод только в пределах их четкообразных расширений, где действительно создаются благоприятные условия для отбора подземных вод, а не в пределах всей долины, как это практиковалось ранее. В этом случае теряет смысл типизация речных долин по строению разреза (однослойный,*

двухслойный, трехслойный и т.п.), так как даже в пределах одного месторождения состав аллювиальных отложений существенно меняется: имеет переходный тип между ранее выделенными типами разрезов. При таком подходе выделенная площадь месторождения не будет избыточной и не приведет к неоправданному выводу из хозяйственного оборота земель, пригодных для освоения для других целей.

2. Природные модели месторождений горных речных долин не являются постоянными во времени, а носят пространственно-временной характер в связи с изменением условий формирования запасов подземных вод во внутригодовом и многолетнем разрезах. Прежде всего, это связано с изменением стоковых характеристик рек и кольматацией подрусловых отложений под влиянием эксплуатации и другой антропогенной деятельности. Предлагается выделять четыре стадии развития пространственно-временных моделей: природная, природно-антропогенная, природно-эксплуатационно-антропогенная с нормальной нагрузкой и природно-эксплуатационно-антропогенная с экстремальной нагрузкой. Причем пространственно-временные изменения последних, как правило, могут иметь как детерминированный, так и вероятностный характер.

3. Прогрессирующая кольматация подрусловых отложений в меженьные периоды происходит под влиянием антропогенеза, не связанного с эксплуатацией, например, интенсивного строительства в долине р. Мзымта (на фоне известных процессов кольматации подрусловых отложений в межень и декольматации в паводок) и приводит к снижению уровней подземных вод из года в год. Этот процесс можно связать только с резким и постоянным повышением мутности речных вод в результате строительной деятельности и квалифицировать как процесс «строительной» кольматации.

4. Используемый в последние 10-летия опыт подсчетов запасов методом аналогии моделей в эксплуатационно-антропогенных условиях с нормальной антропогенной нагрузкой оказался не пригодным для тех же моделей с экстремальной нагрузкой, когда подсчет запасов можно выполнить только по данным многолетнего мониторинга за уровнями подземных вод, расходом и мутностью речных вод с учетом тенденций их многолетних и внутригодовых изменений. Таким образом, в этой части детерминированные пространственно-временные модели приобретают вероятностный характер. Отсюда следует, что по сложности геолого-гидрогеологических условий месторождения горных речных долин следует относить к III группе сложности, а не к I, как это сложилось в практике подсчета запасов, так как основной параметр, определяющий поглощение поверхностного стока через русло реки не может быть определен в процессе разведочных работ.

Практическая значимость. Разработанные пространственно-временные модели Нижне- и Верхнемзымтинского месторождений пресных подземных вод использованы для переоценки запасов на ранее разведанных и оценки на «новых» участках, результаты работ по которым прошли государственную экспертизу по запасам (протоколы ГКЗ Роснедра №2684 и ТКЗ по Краснодарскому краю №3/12).

Выявлена роль антропогенеза – масштабных строительных работ в долине р. Мзымта, начиная с 2010 г., значительно повлиявших на водохозяйственные условия, и приведших к резкому усилению кольматации подрусловых отложений практически на всем участке долины реки (даже на неэксплуатируемых участках) и изменению величины ранее подсчитанных и вновь оцениваемых запасов подземных вод.

Разработанные мероприятия по искусственному восполнению запасов при сверхкритической ситуации позволили восстановить эксплуатационные возможности аллювиального водоносного горизонта Верхнеадлерского участка Нижнемзымтинского МППВ (с 44 до 65 тыс.м³/сут). Запасы были оценены применительно к проектному положению русла реки.

Апробация работы. Результаты исследований и основные положения диссертационной работы были доложены на Международной научно-практической конференции «Питьевые подземные воды. Изучение, использование и информационные технологии» («ВСЕГИНГЕО», п. Зеленый, Московская область, 2011 г.), конференции, посвященной 100-летию со дня рождения выдающихся ученых гидрогеологов-гидротехников Бочевера Ф.М и Веригина Н.Н («ДАР/ВОДГЕО», Москва, 2011 г.), «Сергеевских чтениях» (ИГЭ РАН, Москва, 2013 г.) и международной научной конференции, посвященной 60-летию кафедре МГУ (МГУ, Москва, 2013 г.).

Публикации. Положения работы изложены в 6 изданиях, 3 из которых рекомендованы ВАК.

Личный вклад. Автором диссертационной работы разработаны пространственно-временные математические модели, учитывающие взаимосвязь подземных вод с поверхностными с обоснованием геофильтрационных параметров. Проведенные решения по воспроизведению сложившегося уровня режима на действующих водозаборах и на территории их отсутствия, а также прогнозные расчеты выполнены непосредственно автором работы. В рамках проведенных исследований были оценены эксплуатационная и «строительная» кольматации подрусловых отложений в долине р. Мзымта.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 149 страницах, содержит 36 рисунков, 23 таблицы. Список использованной литературы включает 125 наименований.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научным руководителям д.г.-м.н., проф. Б.В. Боровскому и д.г.-м.н., с.н.с. М.М. Черепанскому за всестороннюю помощь, постоянную поддержку и ценные советы при написании диссертации. Автор признательна всем сотрудникам ЗАО «ГИДЭК», особенно Г.Е. Ершову. За материалы полевых исследований автор благодарна В.А. Кузнецову, А.В. Кузнецову, Д.К. Кажмулинову. Автор признательна коллективу кафедры гидрогеологии МГРИ-РГГРУ за содействие, рекомендации и замечания: В.М. Швецу, В.А. Грабовнику, Л.В. Жемерикиной, А.Б. Лисенкову, В.В. Головину. Автор признательна своей семье за терпение и поддержку на протяжении всего времени написания диссертационной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Глава 1. Основные факторы и особенности гидрогеологических условий формирования запасов в месторождениях подземных вод горных речных долин Черноморского побережья Кавказа

В первой главе охарактеризованы современное состояние изученности исследуемой проблемы, особенности условий формирования подземных вод и эксплуатационных запасов в месторождениях горных речных долин Черноморского побережья Кавказа, их гидрогеологические условия и типизация. Проведен анализ основных факторов, определяющих формирование запасов на рассматриваемой территории, и их изменчивости под влиянием антропогенной нагрузки. Дана характеристика реки Мзымта с рассмотрением принципов выделения границ месторождений в ее долине.

В Российской Федерации наибольшее распространение и использование имеют месторождения пресных подземных вод в речных долинах, отличающиеся большим разнообразием геолого – гидрогеологических условий, хорошей изученностью в геологическом и неравномерной исследованностью в гидрогеологическом отношении. Несмотря на разнообразие гидрогеологических условий горно-складчатых областей, возможность выбора источников централизованного водоснабжения крайне ограничена. В большинстве случаев останавливаются на аллювиальных водоносных горизонтах горных речных долин.

Закономерности строения и формирования горного аллювия изучены в работах *А.А.Чистякова, Н.П.Костенко, Н.И.Николаева и др.*, в которых дается характеристика условий формирования и строения аллювия горных рек.

Водовмещающими породами аллювиального водоносного горизонта являются валунно-галечные отложения с подчиненными прослоями гравийно-галечных и песчано-гравийных пород. Тип заполнителя валунно-галечных отложений сравнительно постоянный – гравийно-песчаный.

Наиболее существенные черты геологического строения горных долин, закономерная смена их морфологии по зонам и распространение месторождений подземных вод горных речных долин связаны с тектоническими условиями – наличием положительных и отрицательных геологических структур и условиями формирования аллювиальных отложений. Резкие местные изменения условий речной эрозии приводят к возникновению четковидного строения долин, то есть к появлению расширенных и суженных (ущелистых) участков (например, Ахштырское ущелье, ущелье Ахсу в долине р.Мзымта), так называемых «перемычек».

Образование руслового аллювия горных рек происходит в условиях активной руслообразующей деятельности, связанной с большими уклонами потока и скоростями течения реки. Аллювий характеризуется разнородностью строения, геологический разрез меняется не только по протяженности долины, но даже в пределах одного отдельно рассматриваемого расширенного участка («четки»). В соответствии с классической типизацией горных речных долин *В.Г.Тимохина* и *А.Б.Островского* по строению геологического разреза

аллювиальных отложений выделяются три подтипа (по слоистости): ашейский, пшадский и цемесский. Ашейский подтип долин представлен исключительно речным валунно-галечным аллювием, иногда с линзами глин. В разрезе цемесского подтипа отмечается абсолютное преобладание глин, а валунно-галечные образования представлены лишь одним маломощным прослоем (не более 4-6 м), залегающим в подошве преуглублений. Наиболее сложным подтипом геологического разреза переуглублений является пшадский, представленный несколькими комплексами валунно-галечных отложений, разделенных глинистыми толщами. Ряд долин представляет собой комбинацию нескольких подтипов (например, ашейского и пшадского с 2-х–3-х слойным строением), поэтому в диссертационной работе существующая типизация была усовершенствована, дополнительно выделен переходный подтип.

Согласно типизации *Б.В.Боревского и Л.С.Язвина*, разработанной в 1974 г., месторождения подземных вод речных долин выделяются в качестве самостоятельного типа.

Месторождения (и их участки) характеризуются значительными эксплуатационными запасами подземных вод аллювия, формирующимися за счет привлечения поверхностного стока рек в полноводный период, и вовлечения в эксплуатацию естественных запасов подземных вод горизонта в меженный период. К концу межени, когда сток реки уменьшается, а скорости течения невелики, образовывается заиленный слой, уменьшающий пропускную способность русла. В течение этого времени в условиях эксплуатации происходит отрыв уровня подземных вод от реки и сработка емкостных запасов, которые наряду с инфильтрацией поверхностных вод через подрусловые отложения обеспечивают расчетный водоотбор. По завершении меженного периода и увеличении поверхностного стока наступает паводковый период, в течение которого в результате переработки русла до глубины 2 м образовавшийся в межень заиленный слой за несколько суток уничтожается, пропускная способность резко возрастает и происходит полное восполнение сработанных запасов. Кроме того, при повышении уровня в реке происходит фильтрация воды через бортовые части русла, как правило, менее закольматированные, чем дно. Режимные наблюдения свидетельствуют об отсутствии прямой связи расходов реки (Q_p) и уровней подземных вод ($H_{скв}$) в многолетнем и внутригодовом разрезах. Независимо от высоты стояния уровня воды в реке в разные периоды положение минимального уровня подземных вод зависит, прежде всего, от расхода реки и продолжительности спада уровня воды в реке, а также изменчивости отметок дна реки при переработке русла в паводок. Цикл «сработки-восполнения» запасов имеет внутригодовой характер. Таким образом, условия формирования запасов подземных вод резко различаются в полноводный и меженный периоды, продолжительность последнего по данным режимных наблюдений составляет 90 сут.

Методика поисково-разведочных работ на вновь оцениваемых участках и на эксплуатируемых месторождениях пресных подземных вод и методика подсчета запасов в рассматриваемых условиях хорошо разработаны и широко опубликованы.

Активная руслообразующая деятельность вызывает отсутствие под руслом реки заиленного слоя и, как следствие, одной из главных особенностей является практически совершенная взаимосвязь подземных и поверхностных вод в естественных (природных) условиях. При эксплуатации взаимосвязь подземных вод с речными существенно ухудшается в сравнении с естественными условиями. Таким образом, при проведении разведочных работ оценить прогнозное значение параметра фильтрационного сопротивления подрусловых отложений для меженного периода не представляется возможным. Поэтому изучение взаимосвязи подземных вод с поверхностными в естественных условиях принято нецелесообразным. Для прогнозных расчетов на «вновь» оцениваемых участках (месторождениях) наиболее достоверные гидрогеологические параметры могут быть получены с использованием метода гидрогеологической аналогии с действующими водозаборами.

Методика оценки запасов подземных вод сводится к расчету берегового водозабора с учетом сработки емкостных запасов горизонта в межень с последующим их восполнением в паводковый период (при этом важной величиной является доля сработки емкостных запасов).

Параметр фильтрационного сопротивления (A_0) имеет резкую изменчивость как в продольном и поперечном сечении русла реки, так и во времени, поэтому его необходимо рассматривать как комплексный, зависящий от ряда факторов (мощность, коэффициент фильтрации заиленного слоя, стоковые характеристики, интенсивность и характер эксплуатационной нагрузки). Изменчивость фильтрационного сопротивления ложа реки во времени была отмечена рядом исследователей: *А.Б. Островский, В.Г. Тимохин, А.В. Федоров, Б.В. Боровский, Н.Б. Бондаренко и др.*

Ранее при подсчете запасов подземных вод рассматриваемые месторождения горных речных долин по сложности геолого-гидрогеологических условий относили к I группе сложности. В связи с тем, что основной параметр, определяющий поглощение поверхностного стока через русло реки, не может быть определен в процессе проведения разведочных работ, месторождения необходимо относить не к I, а к III группе сложности.

Исследование долин Черноморского побережья Кавказа в диссертационной работе рассмотрено с точек зрения регионального и локального подходов. Изучению региональных особенностей были посвящены многочисленные исследования *В.Г. Тимохина, А.Б. Островского, А.В. Федорова, Р.Н. Лизогубовой, О.А. Барейши, Г.Е. Еришова и др.*, проведенные в период с 1971 по 2009 гг. Этап локального рассмотрения долин рек Черноморского побережья начался в 1964 г. и продолжался чуть более 20 лет, характеризуясь массовыми разведками (например, в долине р. Мзымта были разведаны такие участки, как Галицынский, Адлерский, Краснополянский и Ахштырский; в долине р. Псецуапсе – Лазаревский, Алексеевский и Татьяновский). К концу 1985 г. все основные разведочные работы завершились (*Е.М. Рогаль, А.В. Федоров, В.Г. Тимохин, В.Л. Островская, И.С. Проворов, Н.Б. Бондаренко, Б.В. Боровский и др.*). Период целевых разведок и доразведок возобновился в 2004 г. с началом строительства для проведения зимней олимпиады в Сочи в

2014 г. и продолжается по настоящее время (Б.В. Боровский, Г.Е. Ершов, В.А. Кузнецов, Ю.Ю. Кувykiна и др.).

Впервые расчет гидравлического сопротивления русловых отложений был произведен аналитическим методом¹. При подсчете запасов подземных вод Галицынского участка² эксплуатационная кольматация подрусловых отложений не рассматривалась. Она учтена впервые на основании метода аналогии при оценке запасов Адлерского участка³. Переоценка запасов Ахштырского участка⁴ выполнена методами численного моделирования.

В 1975 г. при оценке запасов Адлерского участка вся долина р.Мзымта, от ее истоков до устья, в пределах развития аллювиальных отложений поймы и первой надпойменной террасы была квалифицирована как единое Мзымтинское месторождение подземных вод. В настоящее время отнесение всей долины к одному месторождению представляется неоправданным, выделенная площадь месторождения является «избыточной» и при соблюдении режима ЗСО приводит к излишнему выводу из хозяйственного оборота земель, препятствует их освоению. Как для долины р.Мзымта, так и для аналогичных горных долин Черноморского побережья Кавказа, в основу принципов разделения долины на отдельные месторождения необходимо включить: во-первых, четковидное строение долины. Во-вторых, отсутствие взаимовлияния воронок депрессии от работы водозаборных сооружений, даже при отсутствии так называемых «перемычек» отдельные участки долины в геолого-гидрогеологическом отношении зачастую между собой не связаны и имеют автономные условия формирования запасов. В-третьих, комплекс геолого-экономических факторов, заложенный в определении понятия месторождения, который появляется только после проведения разведочных работ. Таким образом, число месторождений в долинах горных рек будет увеличиваться по мере изучения новых участков. Исходя из этого, подход к выделению месторождений в долине р.Мзымта был изменен, это иллюстрирует рис.1.

Поверхностные воды р.Мзымты являются практически единственным источником восполнения запасов подземных вод аллювиальных отложений, поэтому в диссертационной работе особое внимание было уделено изучению режима поверхностного стока и оценки взаимосвязи подземных и речных вод.

¹ Минкин Е.Л. *Взаимосвязь подземных и поверхностных вод и ее значение при решении некоторых гидрогеологических и хозяйственных задач.* М., 1973. С. 103.

² Рогаль Е.М. *Отчет по разведке и подсчету запасов Галицынского месторождения аллювиальных вод реки Мзымты для водоснабжения Адлерского форелевого хозяйства Краснодарского края на I/XI-65 г.,* Краснодар, 1966. С. 248.

³ Федоров А.В., Островская В.Л. и др. *Отчет о результатах предварительной и детальной разведки Адлерского участка Мзымтинского месторождения пресных вод для водоснабжения курорта Адлер г.Сочи (по сост. на I/VI-75 г.).* Краснодар, 1975. С. 206.

⁴ Федоров А.В., Бондаренко Н.Б., Проворов И.С., Боровский Б.В., Михайлов В.С. *Отчет о результатах детальной разведки Ахштырского участка Мзымтинского месторождения пресных подземных вод для водоснабжения форелеводческого совхоза «Адлер» с подсчетом эксплуатационных запасов по состоянию на 01.04.1981 г.* Краснодар, 1981. С. 225.

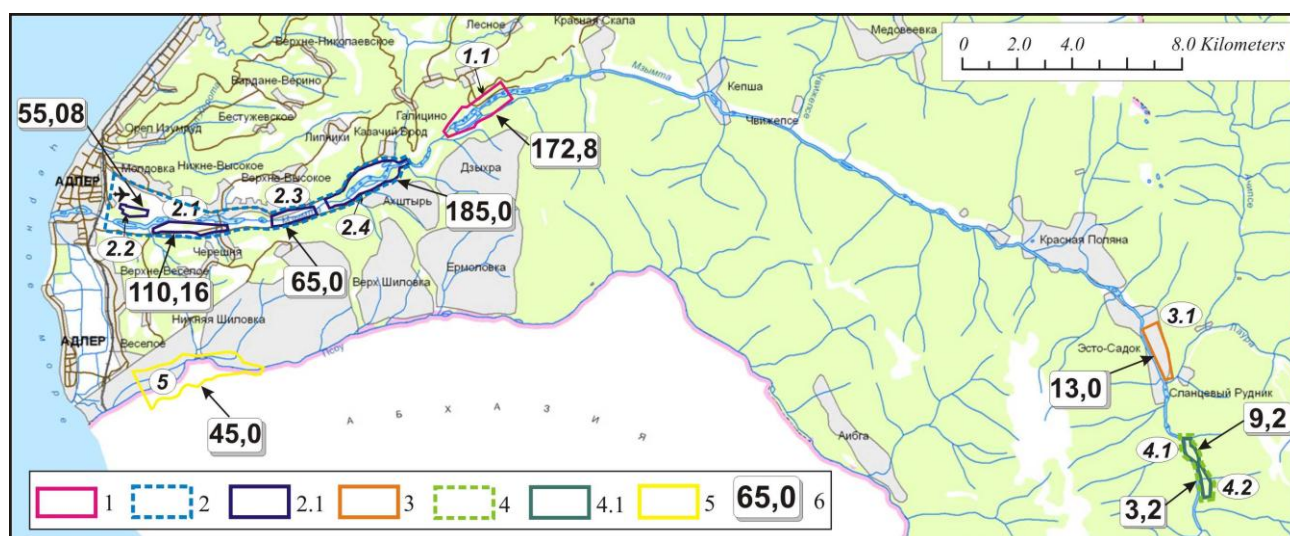


Рис. 1 Обзорная карта расположения месторождений в долинах р. Мзымта и Псоу.

1-5—границы месторождений: 1—Мзымтинского (1.1—Галицынский участок), 2—Нижнемзымтинского (участки: 2.1—Адлерский Левобережный, 2.2—Адлерский Правобережный, 2.3—Верхнеадлерский, 2.4—Ахштырский), 3—Краснополянской группы (3.1—Эсто-Садок-Мзымтинский участок), 4—Верхнемзымтинского (участки: 4.1—Левобережно-Роза-Хуторский, 4.2—Правобережно-Роза-Хуторский), 5—Псоуского, 6—утвержденные запасы подземных вод, тыс.м³/сут.

Одним из важных показателей (на который всегда обращали внимание), определяющих условия кольматации подрусловых отложений при инфильтрации речных вод, является мутность речной воды. В широко применяемом для прогнозов методе гидрогеологической аналогии использовался критерий подобия разведваемого участка применительно к участку-аналогу. Указанный критерий рассчитывался эмпирически в зависимости от среднегодового содержания взвешенных наносов в речной воде. Впоследствии эксплуатационную кольматацию учитывали с применением метода математического моделирования в зависимости от поперечного сечения русла и расхода реки⁵ (появились модели, которые впоследствии использовались как аналоги). В настоящее время возникла иная ситуация. Интенсивное строительство в долине р. Мзымты привело к увеличению мутности поверхностных вод. Ранее самые высокие ее значения наблюдались только в весенний период (по продолжительности не более 10-20 сут). Начиная с 2010 г., фиксируются в течение всего года, включая и периоды низкого стока, что приводит к изменениям формирования естественных ресурсов месторождений подземных вод.

Диссертационная работа по большей части посвящена долине р. Мзымты, по которой проводились основные исследования автора, выбор из всех долин Черноморского побережья Кавказа не случайный. Эта долина

⁵ Бондаренко Н.Б., Боровский Б.В. Исследования на аналоговой модели фильтрационного потока под руслом реки. «Матем. моделирование гидрогеологических процессов. Тез. докладов к научн.-техн. семинару, 1981 г.», М., 1981. С. 79-80.

наиболее изучена и на данный момент подвержена антропогенному воздействию, превышающему по интенсивности другие долины.

Задачи, требующие рассмотрения:

1. Необходимо выделить пространственные границы моделей в четковидных расширениях, как объекты дальнейшего изучения.
2. Обозначить тот комплекс геологоразведочных работ, который позволит оценить факторы (мощность и состав водовмещающих пород, горизонтальный коэффициент фильтрации, вертикально-горизонтальная анизотропия пород, стоковые характеристики рек, геометрические контуры объекта для построения моделей), позволяющие построить природную модель месторождения.
3. Выделить факторы, которые не могут быть определены в процессе разведки, а могут быть оценены по данным эксплуатации на объектах-аналогах (в условиях воздействия нормальной антропогенной нагрузки).
4. В условиях воздействия экстремальной антропогенной нагрузки выделить факторы, которые невозможно определить не только по данным разведки, но и по данным водозаборов-аналогов, так как такое воздействие на формирование запасов не прогнозируемо.
5. Необходимо продолжать исследования по изучению прогнозирования в нарушенных антропогенными воздействиями закономерностей изменения условий взаимосвязи подземных и поверхностных вод с целью разработки возможных рекомендаций по совершенствованию методики разведки и оценки запасов в условиях изменяющейся антропогенной нагрузки.

Глава 2. Геофильтрационные пространственно – временные модели месторождений подземных вод в долине р.Мзымты и влияние на их параметры антропогенной деятельности

Вторая глава содержит описание геофильтрационных пространственно – временных моделей месторождений подземных вод в долине р.Мзымты и влияние на их параметры антропогенной деятельности.

Влияние антропогенной нагрузки на величину запасов в разных по строению геологического разреза подтипах согласно типизации *А.Б. Островского и В.Г. Тимохина* проявляется по-разному, исходя из того, что каждому из них характерны свои особенности гидрогеодинамического режима и взаимосвязи подземных вод с поверхностными. Модели со строением разреза ашейского подтипа, к которому и относятся рассматриваемые месторождения и участки в долине р.Мзымта, характеризуются низкой естественной защищенностью подземных вод (отсутствие водоупорных, либо слабопроницаемых отложений в кровле водоносного горизонта и весьма активной связью с поверхностными водами) и поэтому являются самыми уязвимыми. По характеру и величине воздействия антропогенеза на природную среду и, соответственно, по характеристикам режима месторождения и их участки в определенный период времени можно охарактеризовать на примере

долины р.Мзымты одним из следующих пространственно-временных типов гидрогеологических моделей: природный, природно-антропогенный, природно – антропогенно – эксплуатационный с нормальной антропогенной нагрузкой и природно – антропогенно – эксплуатационный с экстремальной антропогенной нагрузкой.

Природная гидрогеологическая модель характеризуется естественным (ненарушенным) режимом. Характер взаимосвязи подземных и поверхностных вод нашел отражение в изменении фильтрационных свойств аллювиальных отложений в пределах каждого четковидного переуглубления части долины. Наиболее отчетливо такая зависимость выражена в пределах Ахштырского участка: на выходе из Ахштырского каньона значения горизонтального коэффициента фильтрации за счет естественной кольматации аллювия взвесью инфильтрующихся в водоносный горизонт речных вод составляют 35-70 м/сут, тогда как на расширенной части этого участка-100-270 м/сут.

Существенное значение имеет вертикально-горизонтальная анизотропия фильтрационных свойств аллювиальных отложений, соотношение вертикального коэффициента фильтрации к горизонтальному ($k_z:k_{x,y}$) колеблется в пределах от 1:30 до 1:50.

В естественных условиях связь подземных и поверхностных вод является практически совершенной, и соответственно значения параметра фильтрационного сопротивления подрусловых отложений (A_0) составляют порядка 0,05-0,09 сут. Исключения составляют участки, на которых происходит интенсивное поглощение поверхностных вод и исторически сложилась естественная кольматация подрусловых отложений.

Природно-антропогенная гидрогеологическая модель характеризуется уже не естественным, а естественно-антропогенным режимом. Для данного типа характерны перечисленные выше особенности природных моделей. Основные отличия связаны с существенными снижениями и постоянно меняющимися в пространстве и во времени фильтрационными свойствами подрусловых отложений (в сравнении с естественными условиями).

Заметное ухудшение связи подземных и поверхностных вод в меженный период, несмотря на отсутствие эксплуатации, является следствием резкого повышения мутности воды в реке в течение всего года, и даже в самую глубокую межень. Такая ситуация может быть связана с масштабными антропогенными воздействиями на русло реки (в результате строительства на р.Мзымта для проведения зимней олимпиады в Сочи в 2014 г.).

Затрудненная связь подземных и поверхностных вод была отмечена и в низовье, и в верховье реки в меженные периоды на неэксплуатируемых участках при их детальном разведках в 2010-2012 гг. К примеру, усредненное по длине реки на Правобережно-Роза-Хуторском участке Верхнемзымтинского месторождения (см. рис.1) значение параметра фильтрационного сопротивления русловых отложений в период ноября–декабря 2011 г. составило 0,8 сут (при глубине отрыва уровней 0,5 м).

Природно – антропогенно – эксплуатационная гидрогеологическая модель является следующим этапом в развитии геологической среды, когда в

сложившуюся природную или природно-антропогенную гидродинамическую обстановку происходит внедрение водозаборных сооружений и других антропогенных факторов. В месторождениях ашейского подтипа можно выделить два этапа, связанных с существенным нарушением гидрогеологической обстановки антропогенными воздействиями, влияющими на условия формирования запасов подземных вод.

Первый этап антропогенного воздействия на природную среду связан со строительством водозаборных сооружений (**– природно – антропогенно – эксплуатационная гидрогеологическая модель с нормальной антропогенной нагрузкой**) и включает в себя:

- планировку русла и берегоукрепление на участках водозаборных сооружений, приводящих к изменению условий взаимосвязи подземных и поверхностных вод;

- эксплуатационную кольматацию русловых отложений, существенно ухудшающую условия инфильтрации поверхностных вод в водоносный горизонт по сравнению с естественными природными условиями, прежде всего, в глубокую летнюю межень (июль-сентябрь).

Сценарий развития процессов кольматации подрусловых отложений при воздействии нормальной нагрузки в меженный период детально изучен в конце 1970-начале 1980-х гг. на Лазаревском и Ахштырском участках (параметр A_0 в глубокую межень увеличивался до 3 сут). С тех пор при подсчете запасов подземных вод на вновь разведываемых участках долин Черноморского побережья значение фильтрационного сопротивления подрусловых отложений принималось не по данным разведки, а по данным эксплуатации с использованием метода гидрогеологической аналогии. При работе водозаборов на первом этапе антропогенного воздействия на среду в течение длительного времени (Ахштырского – с 1967 г. до 2010 г.) не выявилось негативных тенденций в условиях формирования запасов при их работе. Заметного усиления эксплуатационной кольматации за многолетний период не происходило.

Второй этап антропогенных воздействий на гидрогеологические условия связан с влиянием помимо эксплуатации водозаборов дополнительных антропогенных факторов (в долине р.Мзымты таких как строительство совмещенной железной и автомобильной дороги). В результате возможно повышение мутности речной воды, приводящее к изменению водохозяйственной обстановки – **природно – антропогенно – эксплуатационная гидрогеологическая модель с экстремальной антропогенной нагрузкой**. При такой нагрузке связь подземных и поверхностных вод существенно затрудняется (увеличивается на порядок по сравнению с нормальной нагрузкой), это проявляется при отрыве уровня подземных вод от дна реки в меженный период. Следствием ухудшения взаимосвязи подземных и поверхностных вод является уменьшение дебита скважин и уменьшение общей величины эксплуатационных запасов. Для увеличения дебита водозаборных сооружений необходимо предусматривать мероприятия по искусственному восполнению запасов. В зависимости от

глубины проникновения кольматации подрусловых отложений процесс кольматации может быть обратимым (проникновение кольматанта менее 2 м-глубины переработки отложений в паводковый период) или необратимым (более 2 м). В первом случае параметры фильтрационного сопротивления подрусловых отложений имеют внутригодовую изменчивость, то есть меняются в течение года по схеме «кольматация – декольматация». Во втором – изменчивость от года к году, когда происходит нарастающая в меженные периоды многолетняя кольматация. В таких условиях сценарий развития процесса до конца не изучен, и достоверный прогноз изменения параметров фильтрационного сопротивления русла реки, по существу, невозможен, он может быть выполнен только на основе продолжения мониторинга состояния поверхностных и подземных вод.

Подробная характеристика участков и месторождений в долине р.Мзымта на разных этапах разведки приведена в третьей главе.

Глава 3. Изменение связи подземных и поверхностных вод в различных гидрогеологических и антропогенных условиях

Третья глава состоит из двух разделов.

3.1 Определение изменения связи подземных и поверхностных вод по данным откачек в естественных и естественно – антропогенных условиях

Раздел содержит результаты определения изменения связи подземных и поверхностных вод по данным откачек в естественных и естественно – антропогенных условиях.

В долине р.Мзымта, как в ее низовье, так и в верховье, в разные периоды были проведены целые серии откачек с целью изучения гидрогеологических параметров, некоторые откачки впоследствии воспроизводились на математических моделях.

Одной из впервые воспроизведенной на математической модели является откачка, проведенная в 1972 г. на Адлерском участке⁶, полученная величина параметра фильтрационного сопротивления составила 0,09 сут.

Ярким примером резкой изменчивости параметра взаимосвязи водоносного горизонта с рекой в пределах одного участка в зависимости от направленности и интенсивности водообмена между поверхностными и подземными водами является Ахштырский участок. Как уже указывалось выше, в конце 1970-начале 1980-ых годов была проведена его детальная разведка. К тому моменту Ахштырский водозабор уже эксплуатировал подземные воды аллювиального горизонта. Оценка взаимосвязи подземных и поверхностных вод устанавливалась методом математического моделирования. В южной части участка, в 500 м ниже крайней эксплуатационной скважины, сохранялись естественные условия, и параметр фильтрационного сопротивления не превышал 0,05 сут. В северной части участка, непосредственно ниже Ахштырского ущелья, оцениваемый параметр

⁶ Боровский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. Изд. 2-е, «Недра», М., 1979. С. 326.

взаимосвязи подземных и поверхностных вод составил около 8 сут. Столь высокие величины связаны с естественной кольматацией, связанной с поступлением речных вод в аллювиальную толщу.

Схожими условиями характеризовалось и разведанное в 2002-2004 гг. Эсто-Садок-Мзымтинское месторождение.

В 2007 г. в результате работ по компенсации запасов, утрачиваемых на территории Адлерского Левобережного водозабора, в связи с планировавшимся удлинением взлётно-посадочных полос Адлерского аэропорта выделен перспективный Верхнеадлерский участок, находившийся в естественных условиях, и, соответственно, характеризовавшийся практически совершенной связью подземных и поверхностных вод. Влияния от работы Адлерских и Ахштырского водозаборов на его территории не просматривалось.

В 2011 г. в результате застройки разведанного в 2006 г. Левобережно-Роза-Хуторского участка Верхнемзымтинского месторождения возникла необходимость выбора новой площадки, позволяющей удовлетворить потребность в воде—3,2 тыс.м³/сут для водоснабжения гостиничного и административного комплекса, канатных станций и других сооружений в долине реки. Эта потребность незначительна по сравнению с потенциалом известных месторождений в долине р. Мзымта (по данным ранее проведенных работ удельная производительность береговых водозаборов колебалась в пределах 2÷6 тыс. м³/сут на 100 м длины водозабора). Предполагалось, что требуемый объем воды может быть получен практически на любом участке высокой поймы или первой надпойменной террасы, позволяющим разместить три-четыре эксплуатационные скважины и другие сооружения наземной инфраструктуры водозаборного узла.

Поисковые разведочные работы были сосредоточены на участке, получившем название Правобережно-Роза-Хуторский и отнесенный к Верхнемзымтинскому месторождению. При условии аналогии условий с ранее разведанными природная гидрогеологическая модель «нового» участка должна была быть аналогичной, характеризуясь достаточно высокими мощностью, коэффициентами фильтрации, вертикально-горизонтальной анизотропией и практически совершенной гидравлической связью горизонта с рекой в естественных условиях.

Расчетный водозабор производительностью в 3,2 тыс.м³/сут был намечен из четырех скважин. Учитывая относительно небольшую мощность пород и неглубокое положение водоприемной части скважин, при экстремальном повышении мутности воды в реке возможно повышение и мутности откачиваемых подземных вод. Групповая откачка из скважин должна была решить данный вопрос, результаты были совершенно неожиданными. При последовательном включении скважин наблюдались уменьшение дебита ранее задействованных и резко выраженный неустойчивый режим уровней. Стабилизация дебитов и уровней была достигнута при суммарном расходе 1,8 тыс. м³/сут. Вторая групповая откачка дала аналогичные результаты при суммарном расходе 1,7 тыс. м³/сут. Максимальный дебит, который может быть получен, как за счет работы двух, так и за счет трех пробуренных скважин на

данном участке, составил 1,7 тыс. м³/сут. При этом высокая мутность воды в реке не приводит к ее повышению в откачиваемой воде из скважин.

В первой половине 2012 г. автором настоящей работы была разработана и построена математическая геофильтрационная модель для рассматриваемого участка. Усредненное по длине реки на рассматриваемом участке значение параметра фильтрационного сопротивления русловых отложений для ноября–декабря 2011 г. составило 0,8 сут.

Существенное отклонение геолого-гидрогеологических условий Правобережно-Роза-Хуторского участка от других ранее разведанных в долине р. Мзымта состоит в существенном снижении мощности, фильтрационных свойств, достигнутых дебитов и соответствующих им удельных дебитов. Установлена существенная кольматация русла реки в современных условиях до начала эксплуатации. Результаты проведенных групповых откачек имеют особую важность, при отсутствии которых возникла бы ошибка, связанная с предположением о возможности получения заявленного количества воды из четырех пробуренных скважин.

Таким образом, фильтрационное сопротивление подрусловых отложений в естественных условиях ничтожно мало ($A_0 \leq 0,1$ сут), а гидравлическая связь подземных и поверхностных вод близка к совершенной. Исключения составляют участки, на которых происходит интенсивное поглощение поверхностных вод, и исторически сложилась естественная кольматация подрусловых отложений. Начиная с 2010 г., на детально изученном в верховье долины р. Мзымта Правобережно-Роза-Хуторском участке Верхнемзымтинского МППВ связь подземных и поверхностных вод была существенно затруднена ($A_0 = 0,8$ сут), и как следствие, на его территории сложились природно-антропогенные условия.

3.2 Определение изменения связи подземных и поверхностных вод по данным эксплуатации

Раздел посвящен результатам анализа опыта эксплуатации водозаборов в долине р. Мзымта в нормальной и экстремальной антропогенной обстановках, а также содержит характеристику неэксплуатируемого Верхнеадлерского участка, изученного в рамках переоценки запасов Адлерских водозаборов, так как полученные результаты по нему неразрывно связаны с указанными действующими водозаборами.

3.2.1 Анализ воспроизведения на модели работы действующих водозаборов в «нормальной» антропогенной обстановке (на примере Ахштырского участка в долине р. Мзымта)

Водозабор совхоза Адлер (ныне «Племенной форелеводческий завод «Адлер») расположен на Ахштырском участке Нижнемзымтинского месторождения (см. рис. 1). В 1981 г. в институте ВСЕГИНГЕО была разработана и создана геофильтрационная модель Ахштырского участка (Б.В. Боровский, Н.Б. Бондаренко), на которой решались задачи по изучению анализа опыта эксплуатации действующего водозабора.

Из проведенных работ были сделаны следующие основные выводы:

➤ Параметр фильтрационного сопротивления A_0 является комплексным, зависящим от уровня воды в реке и величины ее стока.

➤ Установлена нелинейная зависимость параметра A_0 от уровня воды в реке и ее расхода, что связано с различной пропускной способностью бортов, дна реки и переработкой русловых отложений, происходящей до глубины 2,0 м.

➤ При параметре фильтрационного сопротивления $A_0=3$ сут и соответствующему стоку реки около $30 \text{ м}^3/\text{с}$ происходит отрыв уровня горизонта от дна реки и начинается сработка емкостных запасов водоносного горизонта.

➤ На участке опытного куста (в 500 м ниже крайних эксплуатационных скважин действующего водозабора с удельной нагрузкой 5-6 тыс.м³/сут на 100 пог.м длины) сохраняются естественные условия взаимосвязи подземных и поверхностных вод (параметр $A_0 = 0.05$ сут), то есть воронка депрессии локализуется в ближайшей окрестности водозабора.

Эксплуатируемые месторождения в долинах горных рек Черноморского побережья различны по гидрологическим, геолого-структурным и гидрогеологическим условиям, а также по величине и интенсивности антропогенной нагрузки. Тем не менее, это позволяло находить аналог для исследуемого участка, по меньшей мере, в части строения гидрогеологического разреза и гидрологических характеристик рек на протяжении последних 30 лет, (до 2010 г.) Для прогнозов развития процессов эксплуатационной кольматации в воднокритические периоды на вновь разведываемых участках использовался метод гидрогеологической аналогии, в соответствии с которым параметр фильтрационного сопротивления подрусловых отложений в глубокую межень увеличивался до 3 сут.

3.2.2 Анализ воспроизведения на модели работы действующих водозаборов в «экстремальной» антропогенной обстановке (на примере Адлерских водозаборов, включая Верхнеадлерский участок)

В период 2009-2012 гг. изучался анализ опыта эксплуатации водозаборов Нижнезмзтинского месторождения, который был нацелен, прежде всего, на изучение параметра фильтрационного сопротивления подрусловых отложений. В первой половине 2011 г. автором настоящей работы была разработана и построена геофильтрационная модель Нижнезмзтинского месторождения, на которой воспроизводились опытная эксплуатация действующих Адлерских водозаборов (Правобережного и Левобережного) и водозабора «Племенного форелеводческого завода Адлер», а также уровенный режим неэксплуатируемого Верхнеадлерского участка вначале в период всего 2010 г., впоследствии – и межени 2011 г.

На модели выделено несколько внутригодовых периодов, в течение которых в связи с изменением стока реки изменялась связь между подземными и поверхностными водами. На период сработки емкостных запасов р. Мзымта моделировалась как ГУ-II. Параметр фильтрационного сопротивления рассчитывался исходя из подобранного расхода, и поэтому был назван как «условно рассчитанный».

По результатам проведенного моделирования были подтверждены ранее сделанные выводы о том, что в полноводный период работа водозаборов обеспечивается за счет привлечения речного стока. Отмечалась хорошая связь подземных и поверхностных вод, и подобранный параметр фильтрационного сопротивления подрусловых отложений- A_0 в целом по месторождению не превышал 0.5 сут. Его значения возрастали в течение летней межени, резко увеличиваясь к ее окончанию. На период сработки емкостных запасов подобранный параметр A_0 на Адлерском участке изменялся от 1 до 11 сут. На территории Верхнеадлерского участка происходило увеличение его значений от 3 сут и в северной его части до 6 сут. Севернее по направлению к Ахштырскому участку фильтрационное сопротивление возрастало до 10 сут, так как на распределение уровней существенное влияние оказывала работа водозабора «Племенной форелеводческий завод Адлер». На территории Ахштырского участка условно рассчитанный параметр A_0 составил 80 сут, при этом компенсация водоотбора происходила за счет фильтрации из реки за его пределами со стороны Верхнеадлерского участка.

Установленная методом моделирования затрудненность питания водоносного горизонта на рассматриваемой территории в меженные периоды подтверждена прямыми измерениями положения уровня подземных вод под руслом реки в пределах поглощения речных вод.

Несмотря на то, что Верхнеадлерский участок не эксплуатируется, уровни в меженный период почти везде оторваны от реки. Развитие воронки депрессии от работы водозабора на Ахштырском участке в меженный период стало чётко прослеживаться на Верхнеадлерском участке, где сложился обратный уклон подземных вод (рис.2). Это свидетельствовало о существенном снижении притока речных вод в водоносный горизонт. Уровни на Адлерском водозаборе (преимущественно на Левобережном) при примерно той же величине водоотбора, что и в предыдущие годы, снизились до предельно допустимых значений, что повлекло за собой необходимость наращивания водоподъёмных колонн до большей глубины. Водозабор «Племенной форелеводческий завод Адлер» на Ахштырском участке в 2010 г. эксплуатировался в крайне напряженном режиме при предельно низких положениях динамических уровней и вынужденном снижении суммарного водоотбора (практически предельные отметки уровней были достигнуты при водоотборе в сентябре 2010 г. всего около 30 тыс.м³/сут (против 185 тыс.м³/сут -утвержденных и 90 тыс.м³/сут -разрешенных лицензией)).

Сложившаяся ситуация связана не с аномально низкой водностью летней межени 2010 г., обеспеченность которой составляла 71 %, а с техногенным воздействием на русло реки масштабных строительных работ в ее долине, которое привело к усилению кольматации подрусловых отложений на всем участке долины реки, особенно ярко проявившихся на Ахштырском и Верхнеадлерском участках в меженный период.

Усиление кольматации можно объяснить, прежде всего, резким повышением мутности воды в реке. Масштабные строительные работы в

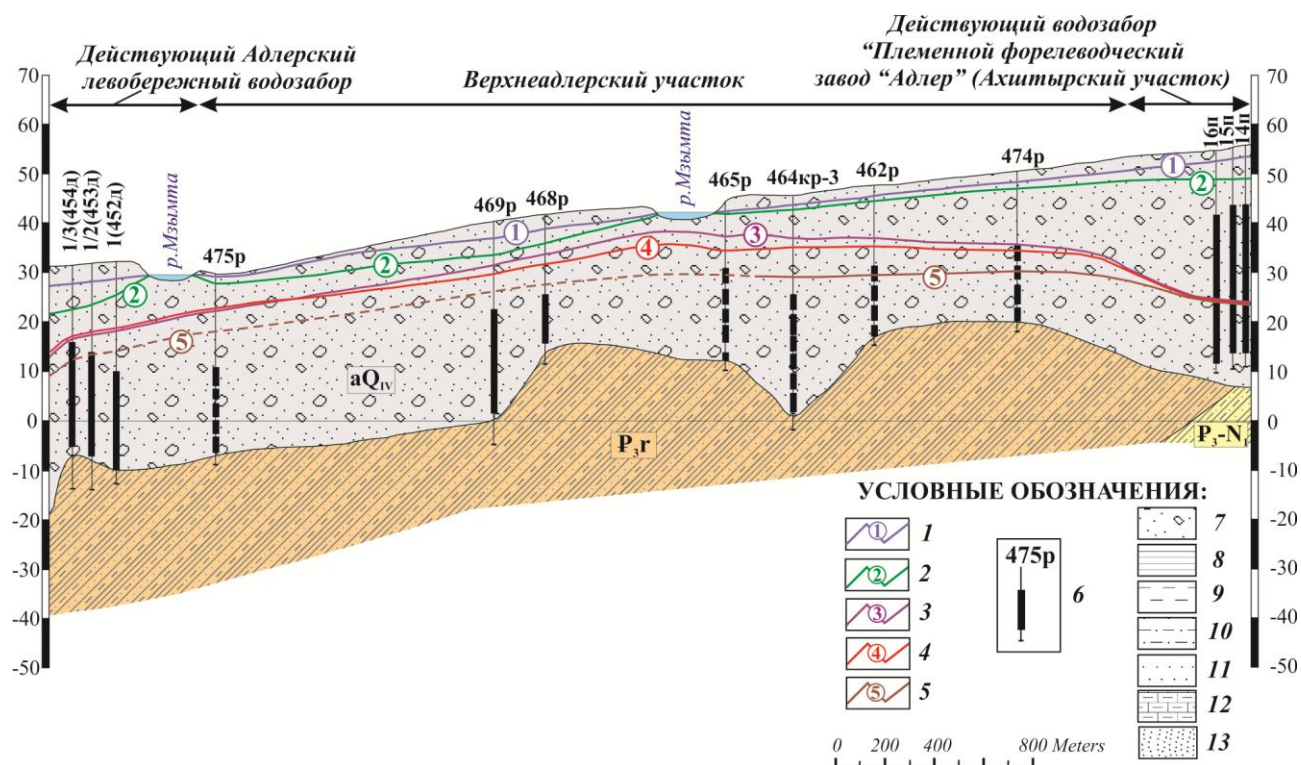


Рис. 2 Продольный схематический гидрогеологический разрез от Адлерского до Ахштырского участков Нижнемзымтинского МППВ.

Положения уровня подземных вод: 1 – в естественных условиях, 2 – в полноводный период (2010 г.), 3 – в глубокую межень (2010 г.), 4 – в меженный период (2011 г.); 5 – в меженный период (2012 г.), 6 – скважины с интервалом установки фильтра, над знаком – номер скв.; 7 – валунно-гравийно-галечные отложения с песчано-суглинистым заполнителем; 8 – глины; 9 – аргиллиты; 10 – алевролиты; 11 – песчаники; 12 – мергели; 13 – песок.

долине р.Мзымты привели к увеличению мутности воды в реке. Ранее ее самая высокая мутность отмечалась только в паводки. Начиная с 2010 г., она наблюдается в течение всего года (рис.3), включая и периоды низкого стока. Взвешенные наносы откладываются в реке и снижают фильтрационные параметры подрусловых отложений. Это приводит к существенным изменениям условий формирования ресурсов месторождения подземных вод.

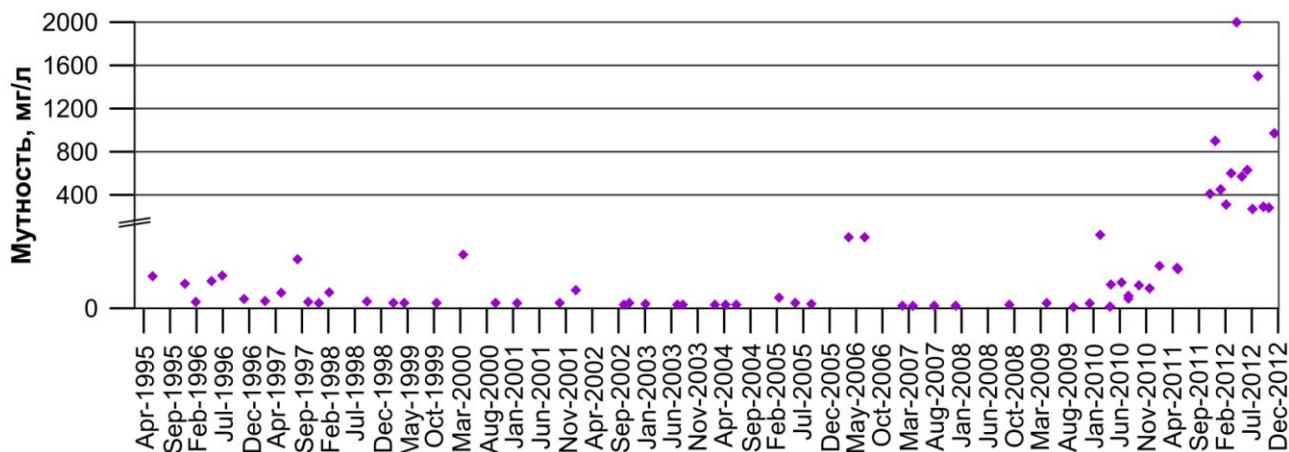


Рис. 3 Мутность воды р.Мзымты в створе «Казачий Брод» и на временном посту ЗАО «ГИДЭК»

В осенние дождевые паводки полное восполнение запасов происходит за 2-3 сут, и затем водозаборы работают при относительно стабильном режиме фильтрации, можно сделать вывод, что наиболее значительная кольматация происходит в глубокую межень, в передах минимального периметра русла.

Продолжавшиеся результаты режимных наблюдений за уровнями подземных вод по наблюдательным скважинам Верхнеадлерского участка показали, что меженные уровни подземных вод в 2011 г. оказались почти на 2 м ниже, чем в 2010 г., а в 2012 г. – на 5,5 м в сравнении с 2011 г. (рис. 4).

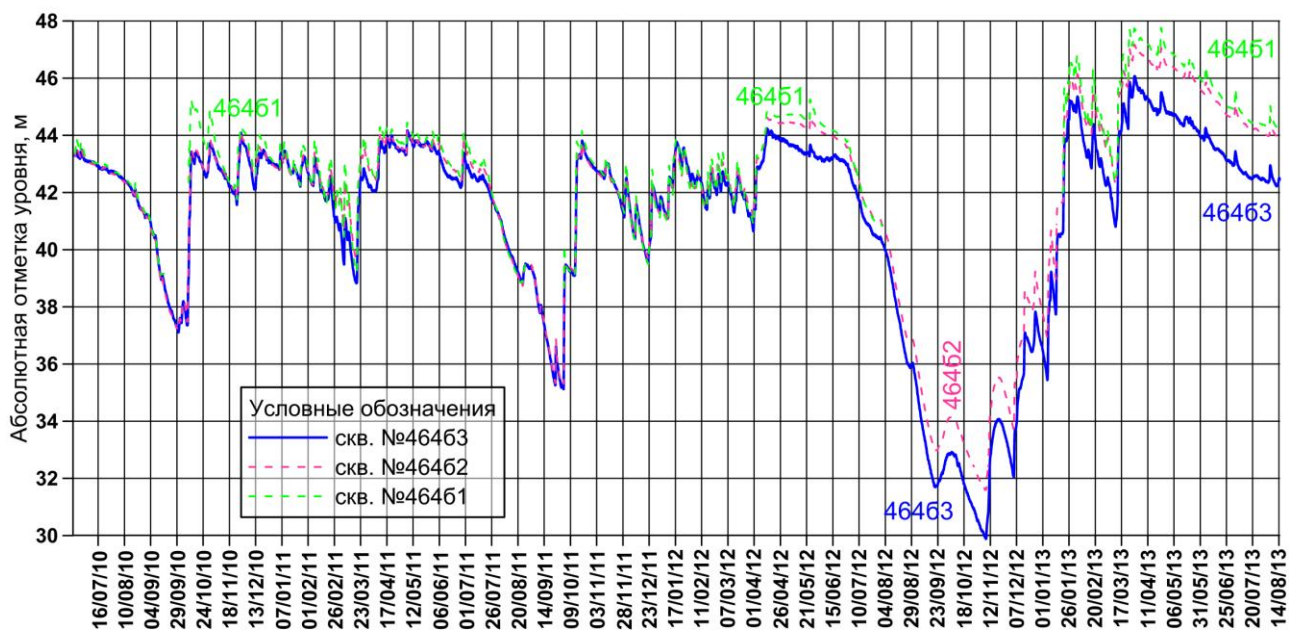


Рис. 4 Результаты наблюдений за режимом подземных вод по скважинам Верхнеадлерского участка (2010-2012 гг.)

Взаимосвязь подземных и поверхностных вод в межень 2011 г. оказалась хуже, чем в 2010 г. Расчетный модельный параметр фильтрационного сопротивления на конец меженного периода 2011 г. в южной части Верхнеадлерского участка составил до 9 сут, в центральной от 12 до 17 сут, и в северной до 20 сут (рис. 5). Результаты моделирования показали дальнейшее уменьшение питания из реки, усиление эксплуатационной кольматации в воднокритический период, вызванное дополнительной техногенной нагрузкой.

Таким образом, до начала интенсивного строительства в пойме р.Мзымта в 2010 г. эксплуатационная кольматация русловых отложений стабилизировалась и происходила по сценарию кольматация – декольматация (при максимальных значениях параметра $A_0=3$ сут в глубокую межень и глубине кольматации до 2 м). В результате масштабного строительства, начиная с 2010 г., резко возросли мутность воды в реке и продолжительность ее повышения в течение года, что привело к возникновению прогрессирующей «строительной» кольматации русловых отложений от межени к межени.

Продолжение режимных наблюдений позволило бы изучить дальнейшую направленность или стабилизацию этого процесса, в том числе после окончания интенсивных строительных работ в долине реки.

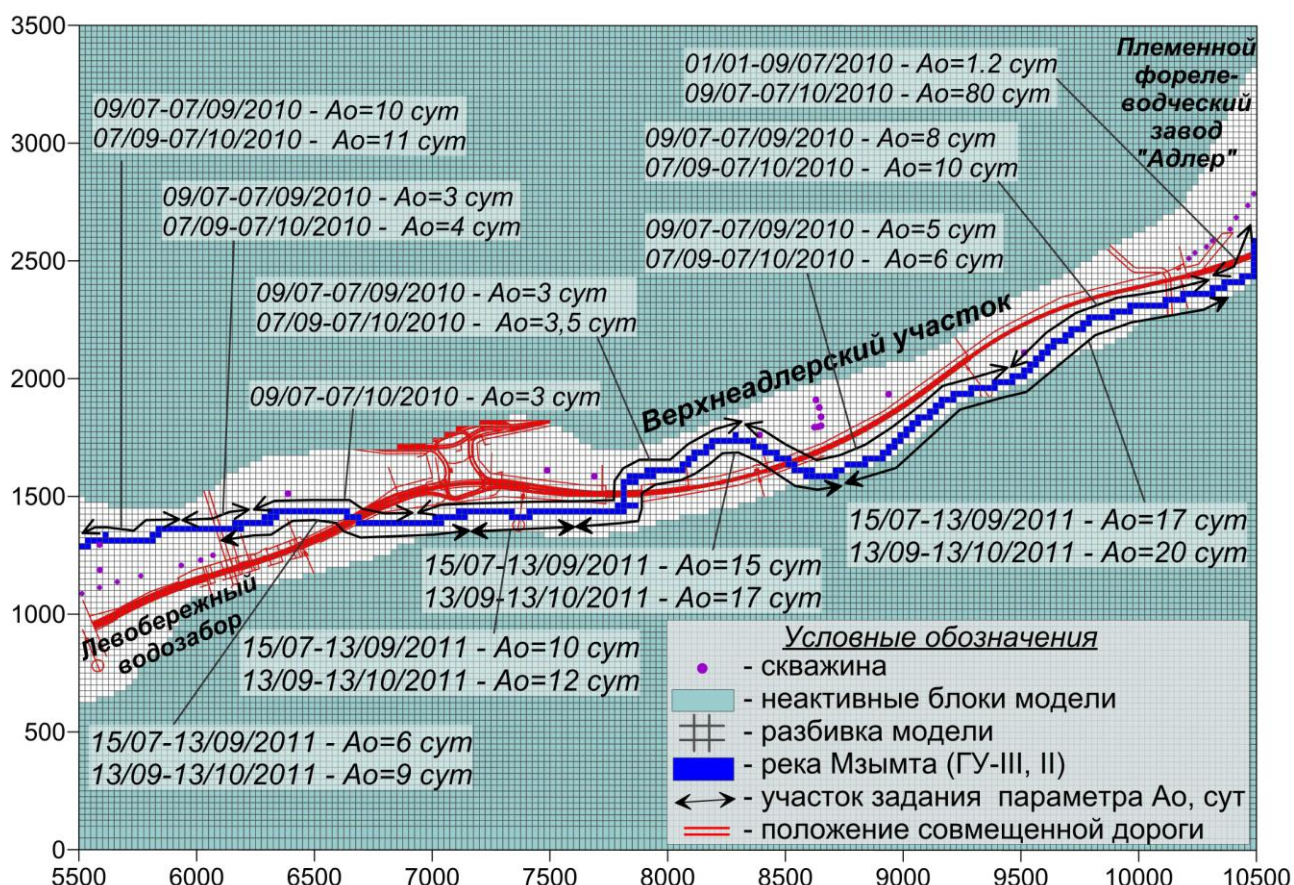


Рис. 5 Схема изменения параметра фильтрационного сопротивления подрусловых отложений по площади модели Нижнезмьтинского месторождения пресных подземных вод в 2010-2011 гг.

Глава 4. Учет изменений условий взаимосвязи подземных и поверхностных вод при оценке эксплуатационных запасов

В четвертой главе рассмотрены учет изменения условий взаимосвязи подземных и поверхностных вод при оценке эксплуатационных запасов; представлены принципиальные решения, выработанные при оценке эксплуатационных запасов подземных вод для получения потребного количества запасов подземных вод, разработанные для Нижнезмьтинского и Верхнезмьтинского МППВ; охарактеризована роль искусственного восполнения запасов, и даны рекомендации по совершенствованию методики разведки и оценки запасов.

4.1 Оценка эксплуатационных запасов подземных вод

Нижнезмьтинского МППВ. Роль искусственного восполнения запасов

Потребность в воде ООО "Югводоканал" составила $140,4$ тыс.м³/сут, величина которой оценена как суммарная расчетная производительность Адлерских Правобережного и Левобережного водозаборов. Производительность водозабора на Верхнеадлерском участке согласно требованиям Олимпийской Программы составила 65 тыс.м³/сут.

На этапе предварительной оценки и переоценки запасов подземных вод (Адлерского и Верхнеадлерского участков, соответственно), выполненной по

состоянию на май-июнь 2007 г., предварительно были намечены варианты компенсации утрачиваемых на Адлерском участке запасов подземных вод с их переносом на Верхнеадлерский. Согласно результатам расчетов, в пределах последнего участка можно было получить 125 тыс.м³/сут запасов подземных вод, что при суммарной длине водозабора 2,5 км соответствовало удельной нагрузке 50 тыс.м³/сут на 1 пог. км. Таким образом, можно было получить всю расчетную величину компенсируемых запасов, а с учетом предварительной оценки запасов, остающихся на Адлерском Левобережном водозаборе (116.3 тыс.м³/сут), общая величина запасов, подлежащая переоценке, составила 241.3 тыс.м³/сут. Согласно этим расчетам, возможность решения поставленной задачи сохранения состоящих на госучете запасов подземных вод сомнений не вызвала. Необходимо отметить, что при этих расчетах увеличение значений параметра фильтрационного сопротивления в меженный период и глубина отрыва уровня от реки принимались по данным эксплуатации детально изученного в конце 1970-х – начале 1980-х гг. Ахштырского участка ($A_0=3$ сут, глубина отрыва 2,0 м). Впоследствии при строительстве сомещенной дороги освоение выделенных южной и северной частей Верхнеадлерского участка оказалось невозможным, южная половина центральной участка оказалась занята смещенным руслом реки.

Вопросами прогнозирования в сложившейся ситуации являются: как долго продлятся такие условия повышенного поступления взвешенных частиц в поверхностные воды, и насколько обратимым является процесс кольматации подрусловых отложений.

Прогнозные расчёты с оценкой (переоценкой) запасов по состоянию изученности на 01.08.2011 г. выполнены в двух основных вариантах. *Первый* предусматривал сохранение (но не ухудшение) сложившихся на 2010-2011 гг. условий взаимосвязи поверхностных и подземных вод и конфигурации русла р. Мзымта. Все фильтрационные параметры модели принимались по результатам решения обратной задачи в условиях интенсивного строительства.

Суммарный расчётный водоотбор Адлерского Левобережного водозабора составил 110,2 тыс. м³/сут, а проектного Верхнеадлерского – 44 тыс.м³/сут. Общая сумма возможного водоотбора (включая Адлерский Правобережный водозабор, расположенный между двумя взлетно-посадочными полосами Сочинского аэропорта) в сложившихся условиях составила 240 тыс.м³/сут. Это гарантированные запасы подземных вод при существовавшей гидрогеологической и гидрологической ситуации, соответствовавшие сложившейся водохозяйственной обстановке на период проведения работ и дату подсчёта запасов. Исходя из полученных результатов невозможности отбора всей величины требуемого количества воды, необходимо было искать технологически выполнимые проектные решения по обеспечению требуемого количества воды.

Схема организации проектного водозабора на Верхнеадлерском участке была нацелена на дополнительное привлечение поверхностных вод, увеличение площади инфильтрации поверхностных вод в аллювиальные отложения. Это могло достигаться только за счёт мероприятий искусственного пополнения

запасов подземных вод. **Второй вариант** прогнозных расчётов предусматривал планировку русла на Верхнеадлерском участке с учётом пуска её расхода по двум рукавам, что соответствует ситуации до начала строительства. Этот вариант планировки русла принят в составе предпроектных решений и являлся базовым для подсчёта запасов подземных вод.

При прогнозных расчётах параметр фильтрационного сопротивления подрусловых отложений для существующего русла принимался по результатам решения обратных задач (2010 г.-для подсчета запасов и 2011 г.-для разработки проектной документации). На протяжении проектируемого положения рукава реки предполагался "нормальный" режим роста и снижения фильтрационного сопротивления – с увеличением величины параметра A_0 до 3 сут в период межени. Такое решение было принято на основании того, что ввод в эксплуатацию Верхнеадлерского водозабора будет осуществлён после окончания периода активного строительства в долине р.Мзымта, и, соответственно, поступление взвешенных частиц в поверхностные воды прекратится. При линейной нагрузке менее 6 тыс.м³/сут на 100 м длины реки это соответствует установленным ранее закономерностям формирования фильтрационного сопротивления русловых отложений эксплуатации подземных вод (условия нормальной антропогенной нагрузки). Процессы необратимой коагуляции подрусловых отложений, в первую очередь, угрожают территории Ахштырского участка, где поток поверхностных вод по условиям своего формирования поглощается наиболее интенсивно. Поэтому запасы Ахштырского участка необходимо переоценивать заново в изменившихся водохозяйственных условиях.

4.2 Оценка эксплуатационных запасов подземных вод Верхнемзымтинского МППВ

Для получения необходимого количества воды в размере 3.2 тыс.м³/сут на Правобережно-Роза-Хуторском участке с помощью разработанной математической модели пришлось искать дополнительные проектные решения. Одно из таких решений заключалось в создании горизонтальной дрены в верхней части площадки водозабора, что для данных условий (небольшая мощность отложений) должно быть вполне эффективным. Также необходимое количество воды можно получить за счет создания второго рукава р.Мзымта и пропуска её расхода по двум руслам.

Запасы подземных вод были подсчитаны применительно к варианту, предполагающему, что заявленное количество воды реализуется с помощью комбинированного водозабора, состоящего из трех скважин (2 рабочие и 1 резервная) и горизонтальной береговой дрены длиной 60 м.

В рассмотренных условиях на Правобережно-Роза-Хуторском участке Верхнемзымтинского МППВ, также как и на Верхнеадлерском участке Нижнемзымтинского МППВ, были найдены проектные решения, позволившие с применением метода математического моделирования получить необходимое количество запасов подземных вод в условиях воздействия экстремальной антропогенной нагрузки.

Заключение

Доказано, что в горных речных долинах месторождения пресных подземных вод целесообразно выделять только в пределах их четкообразных расширений, где создаются благоприятные условия для отбора подземных вод, а не в пределах всей долины, как это практиковалось ранее. Исходя из этого, подход к выделению месторождений в долине р. Мзымта был изменен.

Предложено выделять четыре стадии развития пространственно-временных моделей: природная, природно-антропогенная, природно-эксплуатационно-антропогенная с нормальной нагрузкой и природно-эксплуатационно-антропогенная с экстремальной нагрузкой, так как природные модели месторождений горных речных долин не являются постоянными во времени, а носят пространственно-временной характер.

В месторождениях горных речных долин в естественных условиях связь подземных и поверхностных вод является практически совершенной. Исключения составляют участки, на которых происходит интенсивное поглощение речных вод и исторически сложилась естественная кольматация подрусловых отложений. В условиях эксплуатации происходит ухудшение взаимосвязи подземных и поверхностных вод вследствие эксплуатационной кольматации подрусловых отложений в межень с последующей их декольматацией в паводковый период. Поэтому на протяжении последних 30 лет для прогнозов развития процессов эксплуатационной кольматации в воднокритические периоды на вновь разведываемых участках долин Черноморского побережья использовался метод гидрогеологической аналогии, в соответствии с которым параметр фильтрационного сопротивления подрусловых отложений в глубокую межень увеличивался до 3 сут. В настоящее время в долине р. Мзымта в условиях воздействия дополнительных антропогенных факторов, не связанных с эксплуатацией, но приводящих из-за увеличения мутности речных вод к заметному ухудшению взаимосвязи подземных и поверхностных вод, применение метода аналогии для прогнозирования процессов кольматации ограничено. В связи с тем, что основной параметр, определяющий поглощение поверхностного стока через русло реки, не может быть определен в процессе разведочных работ, месторождения горных речных долин по сложности геолого-гидрогеологических условий следует относить к III группе сложности, а не к I, как это сложилось в практике подсчета запасов.

По результатам сложившейся ситуации воздействия экстремальной антропогенной нагрузки в долине р. Мзымта в период, начиная с межени 2010 г., по данным калибровки созданных пространственно-временных математических моделей оцененные параметры взаимосвязи подземных и поверхностных вод в меженные периоды ухудшились практически на порядок в сравнении с ситуацией воздействия нормальной антропогенной нагрузки. В таких условиях в меженные периоды происходит прогрессирующая многолетняя кольматация подрусловых отложений: параметр фильтрационного сопротивления на неэксплуатируемом Верхнеадлерском участке, расположенном между двумя действующими водозаборами в межень 2010 г.

составил до 10 сут, а в 2011 г. – до 20 сут, то есть увеличился по сравнению с многолетней практикой в несколько раз.

Теория прогноза развития процессов кольтации подрусовых отложений в меженные периоды практически отсутствует. Разрабатывать такого рода теорию в условиях отсутствия реальных представлений о строении пористой среды некорректно. Главным фактором увеличения достоверности прогнозирования является мониторинг не только за изменениями уровней подземных и поверхностных вод, за геометрическими параметрами сечениями русла и мутностью речных вод, но также за характером и интенсивностью величины антропогенной деятельности. В этом случае реальные параметры фильтрационного сопротивления подрусовых отложений смогут быть определены путем развития разработанных пространственно-временных моделей с использованием данных мониторинга для установления многолетних трендов изменения основных параметров расчетов.

***Основные положения диссертации опубликованы в изданиях,
рекомендуемых ВАК:***

1. Боровский Б.В., Ершов Г.Е., Кузнецов А.В., Кувыкина Ю.Ю. «Обоснование источников водоснабжения Олимпийских объектов «Сочи-2014» за счет подземных вод» // Разведка и охрана недр, 10-2010, М., 2010 г., с. 68-70.
2. Боровский Б.В., Ершов Г.Е., Кувыкина Ю.Ю. «Условия формирования эксплуатационных запасов Нижнезымтинского месторождения пресных подземных вод на Черноморском побережье Кавказа и их пространственно-временное изменение под влиянием интенсивной антропогенной нагрузки» // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология, №6, ноябрь-декабрь 2012 г., М., 2012 г., с. 507-518.
3. Кувыкина Ю.Ю. «Геофильтрационная модель и оценка запасов Верхнезымтинского месторождения в условиях интенсивного антропогенного воздействия» // Разведка и охрана недр 11-2012, М., 2012 г., с. 35-41.

В других изданиях:

4. Боровский Б.В., Ершов Г.Е., Кувыкина Ю.Ю., Чуксин В.В. «Особенности формирования запасов подземных вод в долинах рек Черноморского побережья и результаты оценки их ресурсного потенциала» // Материалы Международной научно-практической конференции «Питьевые подземные воды. Изучение, использование и информационные технологии», часть 2, Московская область, п. Зеленый, 2011 г., с. 50-60.
5. Боровский Б.В., Ершов Г.Е., Кувыкина Ю.Ю. «Геофильтрационная модель Нижнезымтинского месторождения пресных подземных вод на Черноморском побережье Кавказа и ее изменения в условиях интенсивной антропогенной нагрузки» // Сборник трудов «Водоснабжение, водоотведение, гидротехника и инженерная гидрогеоэкология», выпуск 13, М., 2012 г., с. 85-92.
6. Ершов Г.Е., Кувыкина Ю.Ю., Язвин А.Л. Переменные граничные условия при расчетах водозаборов // Материалы международной научной конференции, посвященный 60-летию со дня основания кафедры гидрогеологии МГУ имени М.В. Ломоносова, М., 2013 г., с. 433-442.