

На правах рукописи

Беляков Михаил Владимирович

**ВЛИЯНИЕ ОТБОРА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА
ИЗМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА И
ВОДНОГО БАЛАНСА ОЗЕР-ОХЛАДИТЕЛЕЙ
РЕАКТОРНЫХ БЛОКОВ КАЛИНИНСКОЙ АЭС**

Специальность 25.00.07 – гидрогеология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2011

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

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
профессор Грабовников Валерий Аркадьевич

Научный консультант: доктор геолого-минералогических наук,
профессор Боровский Борис Владимирович

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
Зекцер Игорь Семенович

кандидат геолого-минералогических наук,
Ленченко Николай Николаевич

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

Защита состоится 15 декабря 2011 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.121.01 в Российском государственном геологоразведочном университете им. С. Орджоникидзе по адресу: г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, аудитория 5-49.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГРИ-РГГРУ.

Автореферат разослан «14» ноября 2011 г.

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

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

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат геолого-минералогических наук,
доцент

О.Е. Вязкова

Актуальность проблемы. Бесперебойное функционирование атомных электростанций требует поддержания строгого температурного режима реакторных блоков. Обеспечение необходимого температурного режима осуществляется путем эксплуатации естественных или искусственных водоемов-охладителей. При напряженном водном балансе ресурсов поверхностных вод для поддержания необходимого температурного режима может не хватать, особенно в маловодные периоды. В таких случаях возникает необходимость привлечения в систему охлаждения низкотемпературных подземных вод.

Именно такая ситуация возникла на Калининской АЭС в связи с вводом в эксплуатацию дополнительных энергоблоков. С начала работы АЭС для целей охлаждения используются озера Удомля и Песьво. К настоящему моменту температурное воздействие АЭС на озера близко к предельно допустимому, а ввод новых блоков потребует в маловодные годы привлечения в систему низкотемпературных подземных вод, ресурсы которых на объекте заблаговременно выявлены. Однако, отбор подземных вод, имеющих связь с поверхностными водами, может, в свою очередь, привести к уменьшению или прекращению естественной разгрузки подземных вод в озера или даже к возникновению фильтрационных потерь из них, чем существенно снизит положительный эффект дополнительной подпитки озер.

Такая ситуация требует научного обоснования рационального режима использования низкотемпературных подземных вод для подпитки озер-охладителей реакторных блоков Калининской АЭС, чему и посвящена представляемая диссертационная работа.

Цель и задачи исследований. Цель данной работы – изучение роли подземных вод в водном балансе озер-охладителей реакторных блоков Калининской АЭС, исследование водного баланса подземного и поверхностного стока озер-охладителей и их водосборной площади, его изменение под влиянием отбора подземных вод в различной геолого-гидрогеологической обстановке и при различных вариантах эксплуатации водозабора, а также обоснование наиболее рационального варианта использования подземных вод для подпитки водоемов-охладителей.

Для реализации цели поставлены и решены следующие задачи:

1. Анализ современного состояния теории и практики проектирования совместного использования подземных и поверхностных вод на Калининской АЭС.
2. Изучение гидрогеологических и гидрологических материалов прошлых лет, анализ имеющихся данных о состоянии и взаимосвязи подземных и поверхностных вод.
3. Разработка пространственно-временной математической модели, учитывающей взаимосвязь подземной и поверхностной составляющих водосборной площади озер-охладителей Калининской АЭС, ее калибровка.
4. Расчеты на разработанной модели баланса подземных и

поверхностных вод в современных условиях и величины разгрузки подземных вод в реки и озера.

5. Решение на математической модели серии прогнозных и имитационных задач применительно к различной геолого-гидрогеологической обстановке, к величине и режиму водоотбора в разные по водности периоды.

6. Расчеты на математической модели изменения подземной составляющей водного баланса рек и озер моделируемой области под влиянием планируемого водоотбора и сброса подземных вод в озера-охладители.

7. Разработка эффективной системы мониторинга состояния подземных и поверхностных вод, позволяющей своевременно принимать решения по управлению эксплуатацией водозабора подпитки озер-охладителей Калининской АЭС.

Объект и методика исследований. Объектом исследований является баланс подземного и поверхностного стока озер-охладителей Калининской АЭС Песьво и Удомля и их водосборной площади, его изменение под влиянием отбора подземных вод в различной геолого-гидрогеологической обстановке и при различных вариантах эксплуатации водозабора.

Методика исследований включала анализ существующих материалов по рассматриваемому объекту, а также решение балансовых и гидродинамических прогнозных и имитационных задач на математической модели, учитывающей взаимосвязь подземных и поверхностных вод, разработанной в рамках настоящей работы.

Научная новизна. В работе изучена роль подземных вод в водном балансе озер-охладителей реакторных блоков Калининской АЭС Песьво и Удомля. Методом математического моделирования выявлена доля подземных вод в водном балансе озер-охладителей в зависимости от климатических колебаний и геолого-гидрогеологического строения.

Выдвинута гипотеза о пространственной конфигурации древней погребенной долины реки Съежи, и впервые изучено ее влияние на формирование баланса подземного и поверхностного стока озер-охладителей Калининской АЭС Песьво и Удомля и их водосборного бассейна.

Путем решения серии гидродинамических, имитационных и балансовых задач на математических моделях гидрогеологических условий водосборной площади озер-охладителей Песьво и Удомля обоснован наиболее рациональный вариант использования подземных вод для подпитки водоемов-охладителей, минимизирующий неизбежный при этом ущерб поверхностному и подземному стоку.

Разработана система мониторинга гидродинамического, гидрохимического и температурного состояния подземных и поверхностных вод района Калининской АЭС, которая позволит проводить управление эксплуатацией, постоянно контролировать и в случае необходимости корректировать параметры отбора при реализации подпитки водоемов-

охладителей.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Подземные воды являются важной составляющей водного баланса озер Песьво и Удомля, используемых в качестве водоемов-охладителей реакторных блоков Калининской АЭС, расположенной на водоразделе Балтийского и Каспийского морей в условиях острого дефицита располагаемых водных ресурсов. В зависимости от колебаний климатических факторов, доля подземных вод в естественном балансе озер составляет от 9% до 20% в маловодные периоды. Оценка всех составляющих баланса озер-охладителей, в том числе - доли подземных вод в общей величине - необходима для определения оптимальных параметров подпитки озер-охладителей подземными водами и обоснования рационального режима эксплуатации водозаборных сооружений.

2. Древняя долина р.Съежи оказывает значительное влияние на формирование баланса поверхностного и подземного стока, как в естественных, так и в нарушенных условиях, что установлено математическим моделированием и учтено при обосновании оптимального варианта параметров отбора подземных вод для подпитки водоемов-охладителей. Наличие палеодолины оказывает весьма существенное воздействие на баланс поверхностного и подземного стока при эксплуатации алексинско-протвинского и в меньшей степени при эксплуатации каширско-мячковского водоносных горизонтов.

3. Наиболее оптимальным вариантом использования подземных вод для подпитки озер-охладителей, минимизирующим неизбежный при этом ущерб поверхностному и подземному стоку, обоснованный результатами решения серии гидродинамических, имитационных и балансовых задач на математических моделях гидрогеологических условий водосборной площади озер-охладителей, является эксплуатация алексинско-протвинского водоносного горизонта нижнего карбона по схеме, предусматривающей, как ординарный, так и форсированный режим эксплуатации. При реализации подпитки параметры отбора постоянно контролируются и в случае необходимости корректируются по результатам мониторинга гидродинамического, гидрохимического и температурного состояния подземных и поверхностных вод, система которого обоснована в работе.

Практическая значимость. Обоснованная автором диссертационной работы схема рациональной эксплуатации водозабора подпитки озер-охладителей послужила основой для работ по переоценке запасов подземных вод Удомельского района, проводимых ЗАО «ГИДЭК». Величины статей водного баланса подземного стока, полученные автором методом математического моделирования, использовались при расчетах

гидродинамического, гидрогеохимического и температурного балансов в рамках работ по разработке проекта величин допустимых воздействий на Удомельское водохранилище.

Разработанная автором система мониторинга состояния подземных и поверхностных вод, регламент проведения групповой опытно-эксплуатационной откачки, необходимой для оценки запасов подземных вод района Калининской АЭС и уточнения фильтрационных параметров изучаемых водоносных горизонтов, комплексная пространственно-временная математическая модель, а также результаты решения балансовых и гидродинамических задач нашли свое применение в производственной деятельности ЗАО «ГИДЭК» в рамках работ, проводимых по району Калининской АЭС. Вышеупомянутая система мониторинга в настоящее время находится в стадии проектирования и будет реализована в ближайшее время.

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.), «Первой всероссийской конференции молодых ученых, посвященной памяти Валерия Александровича Мироненко» (Санкт-Петербург, 2010 г.), «Пятой всероссийской конференции изыскательских организаций» (Москва, 2009 г.), «Шестой всероссийской конференции изыскательских организаций» (Москва, 2010 г.), научной конференции «Комплексные проблемы гидрогеологии» (Санкт-Петербург, 2011 г.), на совещании в ОАО «Концерн Росэнергоатом» (Москва, 2010); совещании на Калининской АЭС (Удомля, 2010), а также на нескольких научно-технических советах ЗАО «ГИДЭК» (Москва, 2009-2011 гг.). Автор также принимал участие в конференции по гидрогеологическому и инженерно-геологическому моделированию «Geomod'08» (Московская область, Подольский район, 2008 г.) и «Сергеевских чтениях» (Москва, РАН, 2009 г.).

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

Личный вклад. Автором диссертационной работы разработана пространственно-временная комплексная математическая модель, учитывающая взаимосвязь подземных и поверхностных вод, на основе модели, созданной в 2003 году специалистом ЗАО «ГИДЭК» И.Б. Колотовым. В рамках настоящей диссертационной работы модель была усовершенствована, откорректирована и откалибрована на основе данных, полученных в ходе выполнения полевых работ. Решение балансовых и гидродинамических задач проводилось лично автором работы, на основе их результатов были разработаны рациональный вариант использования подземных вод для подпитки озер-охладителей, система мониторинга состояния подземных и

поверхностных вод района Калининской АЭС и регламент групповой опытно-эксплуатационной откачки, предназначенной для детального изучения гидрогеологической и гидрологической обстановки изучаемого района.

Автор настоящей диссертационной работы принимал непосредственное участие в продолжительных полевых гидрогеологических, гидрологических, геофизических и гидрогеохимических исследованиях, проводимых в районе Калининской АЭС.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, пяти глав и заключения, изложенных на 148 страницах, содержит 16 рисунков, 10 таблиц, 6 графических приложений. Список использованной литературы включает 112 наименования.

Благодарности. Автор глубоко благодарен научным руководителям профессору, д.г.-м.н. Боровскому Б.В., профессору, д.г.-м.н. Грабовникову В.А. за неоценимую помощь и содействие в подготовке и написании работы. Искреннюю признательность за советы и моральную поддержку автор приносит сотрудникам кафедры гидрогеологии МГРИ-РГГРУ Швецу В.М., Черепанскому М.М., Жемерикиной Л.В., Лисенкову А.Б., Головину В.В., специалистам ЗАО «ГИДЭК» Олиферовой О.А., Просекову А.М., Козаку С.З., Язвину А.Л., Абрамову В.Ю., Колотову И.Б. Отдельную благодарность автор выражает сотрудникам УКС Калининской АЭС Виноградову Б.К. и Войтенко А.С. За помощь в полевых исследованиях автор признателен Ракунову А.Б., Павловскому А.В., Шубину И.С.

Особую благодарность автор выражает профессору, д.т.н. Белякову В.М. за привитый интерес к геологическим наукам.

Сведения об объекте исследований

В географическом отношении район исследований находится в пределах Главного водораздела Русской равнины, наиболее крупный населенный пункт района - г.Удомля, в 3 км на северо-восток от которого на берегу оз. Удомля расположена Калининская АЭС. В состав АЭС входят три реакторных блока, заканчивается строительство четвертого. В качестве единого водоема-охладителя Калининской АЭС с 1984 г. используются озера Песьво и Удомля, соединенные между собой короткой протокой. Сток с бассейнов этих озер зарегулирован плотиной, построенной в настоящее время в истоке р. Съежа – единственной реки, вытекающей с водосбора озер.

На Калининской АЭС реализована оборотная схема охлаждения реакторных отделений, конденсаторов турбин и основного оборудования. Озера включены в систему технического водоснабжения и охлаждения.

Гидрологическая характеристика. Основные реки района - Съежа, Волчина и их притоки, принадлежат к бассейнам, соответственно, Балтийского и Каспийского морей. На территории района сосредоточены многочисленные мелкие и крупные озера. Озера Песьво и Удомля служат водоемами-

охладителями для Калининской АЭС и, в связи со сбросом горячих вод не замерзают, температура воды в них колеблется от +2° зимой до +31° летом. В водоемы-охладители впадают несколько рек, наиболее крупными являются Тихомандрица, Овсянка, Хомутовка и Сьюча.

Геологическое строение и гидрогеологические условия. Рассматриваемая территория расположена на западном крыле Московского артезианского бассейна. Гидрогеологические условия района Калининской АЭС определяются развитием здесь чехла рыхлых четвертичных отложений, залегающих на обводненных известняках среднего и нижнего карбона.

Отложения четвертичного возраста представлены переслаиванием глинистых и песчаных толщ, мощность отложений изменяется от 20 до 50 м. В составе каменноугольной системы выделяются три горизонта:

1) водоносная каширско-мячковская терригенно-карбонатная свита (каширско-мячковский водоносный горизонт) ($C_2k\check{s}-m\check{c}$); средняя мощность горизонта на рассматриваемой территории составляет 25 м; водопроницаемость водоносного горизонта изменяется от 1000 до 3000 м²/сут;

2) слабопроницаемый верейский терригенный горизонт (C_2vr); в пределах рассматриваемой области средняя мощность верейских глин составляет 20 м; коэффициент фильтрации равен 10⁻⁶ м/сут;

3) водоносная алексинско-протвинская терригенно-карбонатная свита (алексинско-протвинский водоносный горизонт) (C_1al-pr); средняя мощность водоносной толщи в рассматриваемом районе равна 75 м; водопроницаемость горизонта изменяется от 1000 до 4000 м²/сут.

Каширско-мячковский горизонт является на данной территории первым от поверхности водоносным горизонтом каменноугольной системы. Залегает он непосредственно под четвертичными отложениями и не имеет четкого перекрывающего слабопроницаемого слоя, поэтому гидравлическая связь с поверхностными водами весьма существенна.

Второй от поверхности водоносный горизонт каменноугольной системы алексинско-протвинский по всей площади распространения перекрыт слабопроницаемой толщей верейских глин, которые вследствие весьма низкой проницаемости значительно ухудшают его связь с каширско-мячковским водоносным горизонтом и, как следствие, с поверхностными водами.

Сведения о районе Калининской АЭС

Геоморфологическими, геологотектоническими, гидрогеологическими и гидрологическими исследованиями разных лет было подтверждено, что озера Песьво и Удомля находятся на самых низких отметках и в силу этого являются местными базисами дренирования поверхностного и подземного стока. Проблема дефицита водных ресурсов возникла в 1984 г. в связи с ограниченностью поверхностных водных источников, используемых в системе охлаждения турбинного оборудования 1-ого и 2-ого блока Калининской АЭС. Принятая система охлаждения привела к изменению водного и температурного баланса озер Песьво и Удомля. Поэтому при проектировании 3-его и 4-ого блоков АЭС встал вопрос о необходимости привлечения дополнительных

водных источников в периоды экстремально низкой водности для подпитки озер Песьво и Удомля.

Одним из способов покрытия дефицита водных ресурсов при их недостаточности в теплые периоды года является привлечение низкотемпературных подземных вод путем их добычи водозаборными скважинами и сброса в озера-охладители. В данном случае могут использоваться водоносные горизонты, приуроченные к отложениям нижнего и среднего карбона.

В геолого-гидрогеологических исследованиях района Калининской АЭС, в том числе в работах по оценке запасов подземных вод, принимали участие специалисты Московской геологоразведочной экспедиции (МГРЭ) Гладков Н.Н., Гладкова Н.К., Богданова Н.С., Киселева Т.П., под руководством Просекова А.М., специалисты Калининской АЭС (Виноградов Б.К., Кузьмин В.В., Войтенко А.С.), НИАЭП (Леденев В.И.). Для обоснования возможности использования подземных вод для пополнения озер Песьво и Удомля в соответствии с заключением Государственной экологической экспертизы и проектной документации расширения станции до 4000 Мвт (1992 г.) (Б.В. Боровский, Н.К. Гладкова, И.Б. Колотов, С.З. Козак) была определена необходимость проведения специальных гидрогеологических исследований участков для оценки эксплуатационных запасов подземных вод в качестве дополнительного источника технического водоснабжения Калининской АЭС. Потребность в воде была определена ФГУП Нижегородский институт «Атомэнергопроект» на основании проработок Института Водных Проблем РАН.

Д.г.-м.н. Боровским Б.В. была обоснована и доказана рациональность использования для подпитки озер-охладителей Калининской АЭС подземных вод алексинско-протвинского водоносного горизонта, а не только каширско-мячковского, как считалось ранее. Гидрологические, гидрогеохимические и гидрогеологические исследования района Калининской АЭС, в рамках работ по разработке проекта допустимых вредных воздействий на Удомельское водохранилище выполнялись специалистами МГРИ-РГГРУ (Швец В.М., Черепанский М.М.), ГГИ (Задонская О.В.).

В 1996 г. ЗАО «ГИДЭК» была разработана «Программа работ по разведке подземных вод для резервного технического водоснабжения Калининской АЭС», в 1997 г. – разведочная геофильтрационная модель района КАЭС. В 2002 г. ЗАО «ГИДЭК» (Боровский Б.В., Колотов И.Б., Козак С.З.) выполнил ряд геофизических исследований, провел численное моделирование, оценил ущерб поверхностному стоку и запасы подземных вод каширско-мячковского водоносного горизонта. В 2004 г. ЗАО «ГИДЭК» были оценены запасы подземных вод по алексинско-протвинскому водоносному горизонту с учетом форсированного водоотбора 108 тыс.м³/сут в течение двух маловодных лет подряд за одно пятилетие (первый год – 8 месяцев, второй год – 6 месяцев).

В настоящее время решено начать опытную эксплуатацию водозабора для подкачки в озера подземных вод. Потребность в воде для подпитки озер-

охладителей составляет по данным ИВП РАН 0.7-0.9 м³/с при постоянном режиме эксплуатации, максимальная потребность в маловодные периоды – 1.25 м³/с.

Вопрос дефицита поверхностных водных ресурсов района Калининской АЭС рассмотрен в работах Болгова М.В., Штенгелова Р.С., Маслова А.А., Филимоновой Е.А. В отчете «Разработка правил управления подпиткой подземными водами озер-охладителей Калининской АЭС в составе четырех энергоблоков» (Болгов М.В. и др., ИВП РАН, Москва, 2009 г.) показано, что покрытие дефицитов в системе водоснабжения возможно при двух значениях производительности водозабора (0.7 и 0.9 м³/с).

По данным вышеуказанных авторов максимальный ущерб озерам-охладителям Песьво и Удомля при эксплуатации подземным водозабором алексинско-протвинского водоносного горизонта составит 17.46 тыс.м³/сут. Дополнительный ущерб приводит к снижению объема озер на 0.524 млн.м³, что составляет 1.52% от минимального объема озер (34.57 млн.м³), и приводит к понижению уровня озер на 2 см. Полученные величины ущерба объему и глубине озера незначительны и не требуют дополнительного увеличения дебита водозабора для нейтрализации ущерба подземного стока в озера.

Автор настоящей диссертационной работы считает вышеприведенные данные об ущербе озерам-охладителям в значительной степени заниженными, подтверждающие это результаты решения гидродинамических балансовых задач методом математического моделирования приведены в настоящей диссертационной работе.

В результате планируемого водоотбора произойдет перехват части подземного стока в озера, или возможна его инверсия. В пределах депрессии от работы водозабора может произойти понижение уровня подземных вод, вплоть до осушения некоторых одиночных скважин, расположенных на территории Удомельского района, и небольших поверхностных водоемов.

Для поиска оптимального режима эксплуатации необходимо провести сравнение и анализ всех возможных вариантов водоотбора. В работе рассмотрено влияние четырех вариантов эксплуатации водозабора подпитки озер-охладителей на изменение гидродинамического баланса подземного и поверхностного стоков: из каширско-мячковского и алексинско-протвинского водоносных горизонтов среднего и нижнего карбона при дебитах водозабора 0.75 м³/с в штатном режиме с максимальной нагрузкой 1.25 м³/с (не более 6 месяцев в год) в маловодные периоды (требования Калининской АЭС) и 0.9 м³/с в режиме беспрерывной эксплуатации (рекомендации ИВП РАН).

В диссертационной работе также рассмотрено и оценено влияние древней погребенной долины реки Съежи на формирование гидродинамического баланса. По имеющимся фактическим данным проектно-изыскательских работ известно, что палеодолина реки Съежи, сложенная песчано-глинистыми четвертичными отложениями, под акваторией озера Удомля полностью прорезает каширско-мячковский водоносный и верейский слабопроницаемый глинистый горизонты. Фильтрационные параметры

отложений древней долины значительно выше параметров верейского горизонта, в результате чего гидравлическая взаимосвязь между каширско-мячковским и алексинско-протвинским водоносными горизонтами в пределах палеодолины существенно улучшена по сравнению с площадью развития верейских глин, что приводит к усилению влияния на баланс озер при отборе подземных вод.

Методика исследований

Оценка изменения водного баланса водоемов-охладителей Калининской АЭС наиболее эффективно и результативно может быть выполнена с использованием геофильтрационной математической модели, учитывающей взаимосвязь подземной и поверхностной составляющих водосборной площади озер-охладителей, атмосферные осадки, испарение поверхностных вод озер-охладителей, а также геолого-гидрогеологические особенности строения рассматриваемой территории.

В диссертационной работе приведено описание геофильтрационных параметров водоносных и слабопроницаемых слоев, условий взаимосвязи поверхностных и подземных вод, полученных путем решения серии обратных гидродинамических и балансовых задач методом математического моделирования на основе фондовых материалов и результатов полевых, в том числе гидрогеологических, геофизических и гидрологических, исследований. Площадь моделирования составляет 6100 км² и включает в себя всю площадь водосбора озер Удомля и Песьво.

Расчетная схема геофильтрационной модели района Калининской АЭС отражает основные факторы формирования подземных вод: инфильтрационное питание подземных вод четвертичного водоносного комплекса; взаимосвязь подземных и поверхностных вод; неоднородность фильтрационных свойств водоносных и слабопроницаемых отложений; приток и отток подземных вод на внешних границах модели; сработку и восполнение емкостных запасов.

При моделировании 1-ый слой геофильтрационной модели включал в себя четвертичные водоносные и слабопроницаемые отложения, объединенные в единый водоносный комплекс с внутренней вертикально-горизонтальной анизотропией его разреза. 2-ой слой – каширско-мячковский водоносный горизонт; 3-ий – верейскую слабопроницаемую толщу; 4-ый слой модели воспроизводит алексинско-протвинский водоносный горизонт. В северо-западной части области моделирования, где верейские глины выклиниваются, 4-ый слой модели залегает непосредственно под четвертичными отложениями.

Среднемноголетнее питание подземных вод четвертичного водоносного комплекса воспроизводилось на модели как величина, постоянная во времени и переменная по площади, исходя из предварительно определенной средней величины естественных ресурсов подземных вод территории – 2.2 л/сек·км² (66 мм/год).

Взаимосвязь подземных вод четвертичных водоносных отложений с речными и озерными водами воспроизводилась на модели путем использования

граничных условий третьего рода. В описанной постановке естественные ресурсы подземных вод среднего карбона формируются путем перетекания из четвертичных водоносных отложений. Разгрузка подземных вод осуществляется на действующих водозаборных сооружениях и путем перетекания в долинах крупных рек и чашах озер через моренные суглинки

Факторно-диапазонный анализ и анализ результатов полевых исследований.

При решении обратных и прогнозных задач на описанной математической гидродинамической модели был проведен факторно-диапазонный анализ – выявление параметров водоносных и слабопроницаемых горизонтов, задаваемых в модели, которые наиболее сильно влияют на результат решения задач – на изменение положения уровня подземных вод каширско-мячковского и алексинско-протвинского водоносных горизонтов и подземный сток в реки и озера. Было проанализировано влияние таких параметров как граничные условия 1-ого рода на восточной границе модели, фильтрационные параметры донных отложений озер и рек всей площади моделирования, изменение вертикальных и горизонтальных коэффициентов фильтрации водоносных и слабопроницаемых горизонтов, положение уровня воды в озерах-охладителях Песьво и Удомля.

По результатам решения на модели обратных гидродинамических задач, а также проведения факторно-диапазонного анализа было выяснено, что наибольшее влияние на положение уровня подземных вод каширско-мячковского и алексинско-протвинского водоносных горизонтов среднего и нижнего карбона оказывает величина вертикального коэффициента фильтрации верейского слабопроницаемого глинистого горизонта (3-й слой модели). По результатам факторно-диапазонного анализа, а также фактическим данным, полученным в результате полевых наблюдений за состоянием подземных вод Удомельского района, фильтрационные параметры верейского слабопроницаемого глинистого горизонта были уточнены. Таким образом, претерпела изменения величина вертикального перетока между каширско-мячковским водоносным горизонтом среднего карбона и нижележащим алексинско-протвинским водоносным горизонтом нижнего карбона и величина подземного стока в озера.

В рамках настоящей диссертационной работы было проведено обследование искусственного канала, связывающего озеро Песьво с северной частью озера Удомля, созданного с целью увеличения площади циркуляции поверхностной воды озер-охладителей, используемой для охлаждения оборудования реакторных блоков. При обследовании были проведены замеры глубины канала по всей его длине (батиметрическая съемка), а также донная термометрия. Результаты данных работ позволили довольно детально воссоздать искусственный канал на гидродинамической математической модели, также была уточнена схема глубин озер Песьво и Удомля.

Дальнейшее описание диссертационной работы построено по защищаемым положениям.

Защищаемое положение 1

Подземные воды являются важной составляющей водного баланса озер Песьво и Удомля, используемых в качестве водоемов-охладителей реакторных блоков Калининской АЭС, расположенной на водоразделе Балтийского и Каспийского морей в условиях острого дефицита располагаемых водных ресурсов. В зависимости от колебаний климатических факторов, доля подземных вод в естественном балансе озер составляет от 9% до 20% в маловодные периоды. Оценка всех составляющих баланса озер-охладителей, в том числе - доли подземных вод в общей величине - необходима для определения оптимальных параметров подпитки озер-охладителей подземными водами и обоснования рационального режима эксплуатации водозаборных сооружений.

В доказательство вышеприведенного положения представлены результаты геофизических исследований, проведенных на акватории озер-охладителей Калининской АЭС, гидрологических и гидрогеологических аналитических расчетов, а также результаты решения балансовых задач на гидродинамической математической модели по воспроизведению естественных и современных условий рассматриваемой территории.

Геофизические исследования.

В рамках работ по настоящему объекту были проанализированы результаты геофизических работ 1997 и 2001 годов, выполненные ЗАО «ГИДЭК» (Козак С.З.) по озерам Удомля и Песьво методами донных ВЭЗ, термометрии и резистивиметрии.

Взаимодействие между водами среднего карбона и озерными водами определяется литологическим составом и мощностью разделяющих их отложений четвертичного возраста. Полученные результаты послужили основным материалом для детального задания в математическую гидродинамическую модель проводимости донных отложений озер-охладителей и взаимосвязи подземных и поверхностных вод на территории озер Песьво и Удомля.

На рисунке 1 приведена схема оценки взаимодействия подземных вод и озер-охладителей. Полученные данные позволяют предположить, что в основном по дну озера Удомли идет слабоинтенсивная рассредоточенная разгрузка, однако на локальных участках небольшого размера может происходить сосредоточенная разгрузка средней и высокой интенсивности. Что касается озера Песьво, то из схемы видно, что по его дну фиксируются зоны плохо и слабопроницаемые, таким образом, интенсивность разгрузки подземных вод по дну озера крайне мала. Известно, что вблизи дна температура поверхностных вод такая же, как и подземных.

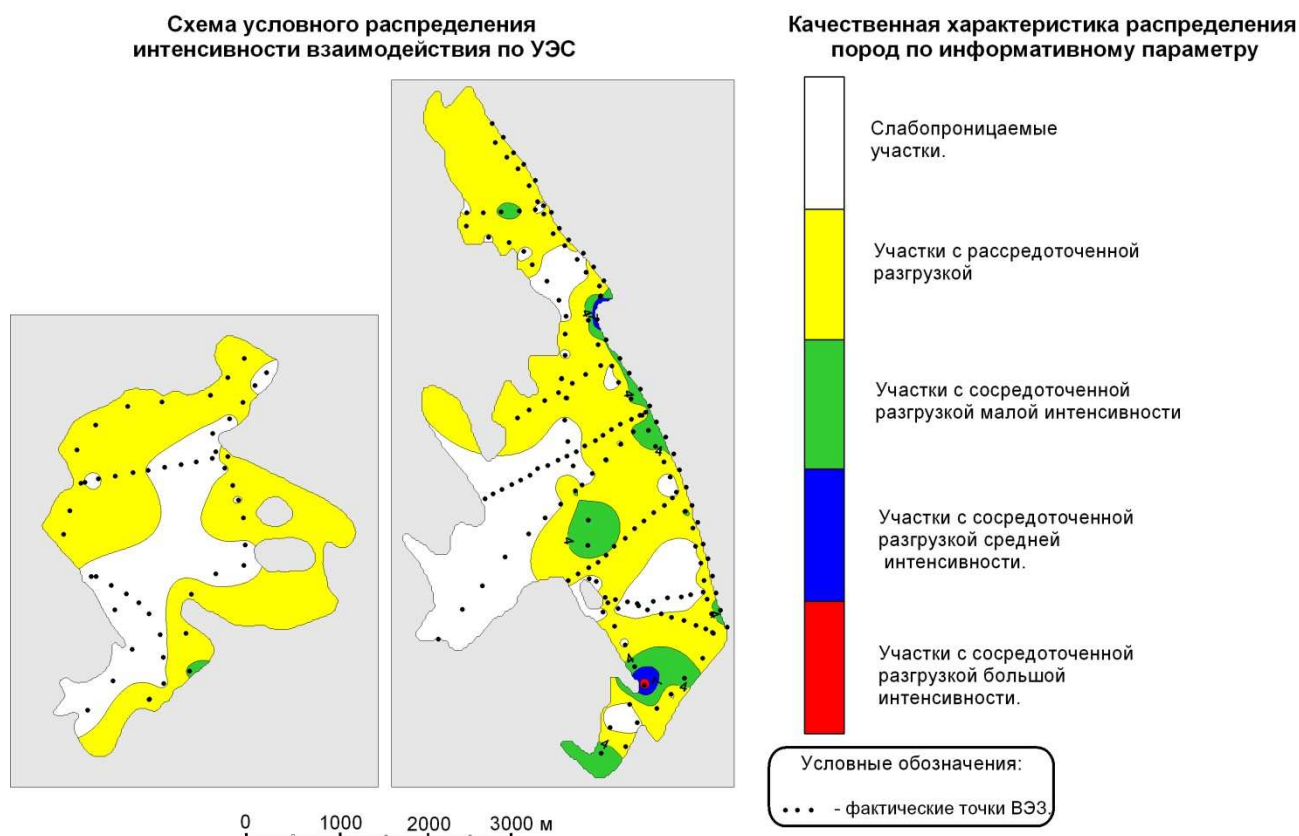


Рисунок 1. оценка взаимодействия поверхностных и подземных вод по озерам Песьво и Удомля.

Анализ гидрологических и гидрогеологических материалов.

Подземное питание озер-охладителей, как и впадающих в них рек, формируется в зоне активного водообмена. В результате анализа гидрогеологических условий района, изучения режима подземных и поверхностных вод, установлена следующая гидродинамическая схема фильтрации на рассматриваемой площади. Район принадлежит к водоразделу, где формируются истоки речных систем Каспийского и Балтийского бассейнов. Одновременно рассматриваемая территория является областью питания и частичной разгрузки подземных вод, которые определяют устойчивый меженный сток рек и меженный режим озер. Областью разгрузки первых от поверхности водоносных горизонтов являются близлежащие дрены – ручьи, реки, озера, в которые осуществляется разгрузка водоносных горизонтов, сложенных рыхлыми песчано-гравийными отложениями и которые в свою очередь дренируют подземные воды из слабопроницаемых суглинков.

Второй статьей расходной части баланса грунтовых вод четвертичного комплекса является переток в нижележащие среднекаменноугольные отложения. Питание каширско-мячковского водоносного горизонта осуществляется на всей площади распространения, однако условия питания различные и зависят от проницаемости перекрывающей толщи. На участке крупных рек и озер, где в их ложе залегают рыхлые песчано-гравийные четвертичные отложения, происходит частичная разгрузка каширско-мячковского водоносного горизонта.

Ориентировочное значение подземного питания, определяемое по результатам режимных наблюдений за уровнем подземных вод, составило 70 мм/год, модуль стока $M = 2,22 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ при площади водосбора озер-охладителей 400 км^2 , таким образом суммарная величина питания составляет $0,9 \text{ м}^3/\text{сек}$.

По замыкающему створу р.Съежа при водосборной площади 400 км^2 расход подземного стока реки по данным Нижегородского института «Атомэнергoproject» составляет $0,880 \text{ м}^3/\text{с}$ или $76,0 \text{ тыс.м}^3/\text{сут}$, что также соответствует модулю подземного стока $880/400 = 2,2 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$.

Рассчитанные независимыми способами значения среднееголетнего модуля подземного стока с водосборной площади р. Съежа по створу д.Стан практически равны, что свидетельствует о достаточной достоверности расчетов.

По результатам гидрогеологических расчетов, а также по данным, приведенным в работах Черепанского М.М., видно, что часть подземного потока дренируется реками и озерами, расположенными на территории водосбора озер-охладителей, а средний многолетний подземный приток непосредственно в озера-охладители в естественных условиях может быть принят равным **$0,5 \text{ м}^3/\text{с}$** или **$44 \text{ тыс.м}^3/\text{сут}$** .

В современных условиях подземное питание озер нарушено. Во-первых, при эксплуатации подземных вод каширско-мячковского водоносного горизонта среднего карбона сформирована депрессионная воронка, частично захватывающая зону их разгрузки в озера. Во-вторых, на питание озер подземными водами оказывает влияние подпор, возникший при повышении уровня озер-охладителей.

В результате совместного влияния указанных факторов: развитие депрессионных воронок от действующих водозаборов, перехватывающих подземный сток – с одной стороны, и подъема зарегулированного уровня системы озер-охладителей – с другой, возможно формирование очагов перетока поверхностных вод из озер в водоносные горизонты.

Результаты гидродинамического математического моделирования.

Уточнение доли подземных вод в общем водном балансе водоемов-охладителей было выполнено с помощью решения ряда балансовых задач на гидродинамической математической модели. Методом моделирования задачи решались, как для естественных, так и для современных условий, при которых учитывались все водозаборы, расположенные на территории Удомельского района и в том числе одиночные эксплуатационные скважины, а также подпор в озерах.

Естественные условия

Воспроизведение на модели естественных условий получено в результате решения комплекса обратных модельных задач. Основное внимание уделено статьям гидродинамического баланса, характеризующим разгрузку подземных вод на территории озер-охладителей Песьво и Удомля и их водосборного бассейна.

В таблице 1 приведены среднегодовые величины разгрузки подземных вод непосредственно в озера-охладители в естественных гидрогеологических условиях, рассчитанные при положении уровня воды в озерах-охладителях Песьво и Удомля на отметке 155.24 м (среднегодовой уровень в естественных условиях).

Величины разгрузки подземных вод в озера-охладители	тыс.м³/сут
Горизонтальный приток подземных вод из четвертичных водоносных горизонтов	23
Вертикальный переток подземных вод из каширско-мячковского водоносного горизонта	22
Вертикальный переток подземных вод из алексинско-протвинского водоносного горизонта через верейский слабопроницаемый и каширско-мячковский водоносный горизонты	2
ВСЕГО	47

Приведенные данные получены при положении уровня воды в озерах-охладителях 155.24 м.

Таблица 1. Величины разгрузки подземных вод в озера-охладители в естественных условиях

Суммарная величина разгрузки подземных вод в Удомельское водохранилище (озера-охладители Песьво и Удомля) составляет **47 тыс.м³/сут**, остальной подземных сток разгружается в реки и озера в пределах водосбора водохранилища. Величина вертикального перетока из нижележащего каширско-мячковского водоносного горизонта среднего карбона равна 22 тыс.м³/сут, величина притока из алексинско-протвинского водоносного горизонта мала и составляет около 2 тыс.м³/сут (примерно 4% от общей величины). Остальные 23 тыс.м³/сут представляют собой горизонтальный приток из четвертичных водоносных горизонтов.

Современные условия

Анализируя данные по водному балансу озер-охладителей за период с 1972 по 2006 гг. (М.М. Черепанский, В.М. Швец), учитывая работу 3-х энергоблоков Калининской АЭС и результаты модельных расчетов, в таблице 2 приведены величины разгрузки подземных вод в озера-охладители в современных условиях на год низкой водности в период дефицита поверхностных водных ресурсов. Доля подземных вод в водном балансе озер-охладителей составляет порядка **15% (30.5 тыс.м³/сут)**. Известно, что величина испарения с поверхности озер-охладителей и с градирен равна 104.1 тыс.м³/сут, а величина оттока по Съеже – 244.9 тыс.м³/сут, таким образом, суммарная величина расходных статей баланса равна 350 тыс.м³/сут и наблюдается дефицит водных ресурсов в размере 110 тыс.м³/сут. При работе водозабора с рассматриваемым водоотбором, величина подпитки озер-охладителей составит 108 тыс.м³/сут или 1.25 м³/с. Стоит отметить, что приведенная величина дефицита поверхностных водных ресурсов при работе трех реакторных блоков Калининской АЭС в большой степени компенсируется в течение года, особенно

в весенний период, но при вводе в эксплуатацию четвертого реакторного блока подпитка водоемов-охладителей обязательна.

Величины разгрузки подземных вод в озера-охладители	тыс.м³/сут
Горизонтальный приток подземных вод из четвертичных водоносных горизонтов	15
Вертикальный переток подземных вод из каширско-мячковского водоносного горизонта	14
Вертикальный переток подземных вод из алексинско-протвинского водоносного горизонта через верейский слабопроницаемый и каширско-мячковский водоносный горизонты	1.5
ВСЕГО	30.5

Таблица 2. Величины разгрузки подземных вод в озера-охладители в современных условиях

Таким образом, можно сделать вывод о том, что подземные воды являются важной составляющей водного баланса водоемов-охладителей реакторных блоков Калининской АЭС. Оценка всех составляющих баланса и, прежде всего, доли подземных вод в общей величине, необходима для определения оптимальной величины подпитки озер-охладителей подземными водами в различные климатические периоды.

Защищаемое положение 2.

Древняя долина р.Съежи оказывает значительное влияние на формирование баланса поверхностного и подземного стока, как в естественных, так и в нарушенных условиях, что установлено математическим моделированием и учтено при обосновании оптимального варианта параметров отбора подземных вод для подпитки водоемов-охладителей. Наличие палеодолины оказывает весьма существенное воздействие на баланс поверхностного и подземного стока при эксплуатации алексинско-протвинского и в меньшей степени при эксплуатации каширско-мячковского водоносных горизонтов.

В работе рассмотрено и оценено влияние древней погребенной долины реки Съежи на формирование гидродинамического баланса. По имеющимся фактическим данным проектно-изыскательских работ известно, что ниже четвертичных отложений под акваторией озера Удомля и далее на северо-запад располагается палеодолина р.Съежи, сложенная песчано-суглинистыми четвертичными отложениями, которая полностью прорезает каширско-мячковский водоносный и местами верейский слабопроницаемый глинистый горизонты. Вследствие улучшения условий взаимосвязи между каширско-мячковским и алексинско-протвинским водоносными горизонтами, в контуре палеодолины не исключена возможность подтягивания и попадания поверхностных вод в продуктивные водоносные горизонты при их интенсивной эксплуатации. На рассматриваемой территории палеодолина вскрыта малым количеством разведочных скважин, тем самым ее точная форма и пространственное расположение не изучены.

С целью изучения влияния палеодолины на формирование баланса поверхностных и подземных вод был решен ряд задач на численной математической модели при различных пространственных конфигурациях исследуемой палеодолины и при различных фильтрационных характеристиках слагающих ее пород.

На схеме доледникового рельефа Удомельского района, составленной Б.К. Виноградовым по данным строительного бурения, довольно четко прослеживается контур древней долины реки Съежи, на основе данной схемы палеодолина задана в математическую гидродинамическую модель. Фильтрационные свойства отложений, слагающих древнюю долину, заданы характерными для отложений четвертичного возраста.

Понижения уровня подземных вод алексинско-протвинского водоносного горизонта нижнего карбона на территории водозабора дополнительного источника водоснабжения (водозабора подпитки озер-охладителей) зависят от величины перетока подземных вод из вышележащих горизонтов. Как видно по графикам водоотбора и прогнозных понижений уровня подземных вод алексинско-протвинского водоносного горизонта (рис.2), с увеличением перетока понижения уровня подземных вод уменьшаются, площадь воронки депрессии также сокращается, тем самым уменьшается область влияния водоотбора.

Для построения графиков балансовой структуры подземного стока (рис.2) использовались абсолютные величины статей баланса непосредственно в области распространения древней долины и влияния водозаборных скважин. Стоит отметить, что водозабор подпитки озер-охладителей расположен в 5 км юго-западнее территории распространения древней долины реки Съежи, поэтому приведенные на графиках величины статей баланса относятся именно к площади распространения палеодолины.

В таблице 3 приведено сравнение приходных статей баланса озер-охладителей в естественных условиях с учетом и без учета древней долины. Как видно из таблицы, величина разгрузки подземных вод снизилась до 21 тыс.м³/сут (на 55%), из которых вертикальный переток из нижележащих водоносных горизонтов составляет 8 тыс.м³/сут, доля подземных вод алексинско-протвинского горизонта в этой величине составляет около 15%.

Без учета палеодолины

Приходная часть	тыс.м ³ /сут
Осадки	33.2
Речной приток	135.0
Разгрузка подземных вод	47.0
Промышленный сток	25.2
Сумма приходных статей	240.4

С учетом палеодолины

Приходная часть	тыс.м ³ /сут	
Осадки	33.2	
Речной приток	161.0	20%*
Разгрузка подземных вод	21.0	55%*
Промышленный сток	25.2	
Сумма приходных статей	240.4	

* - процентное изменение статей баланса по сравнению с естественными условиями без учета палеодолины.

Таблица 3. Приходные статьи баланса озер-охладителей в естественных условиях

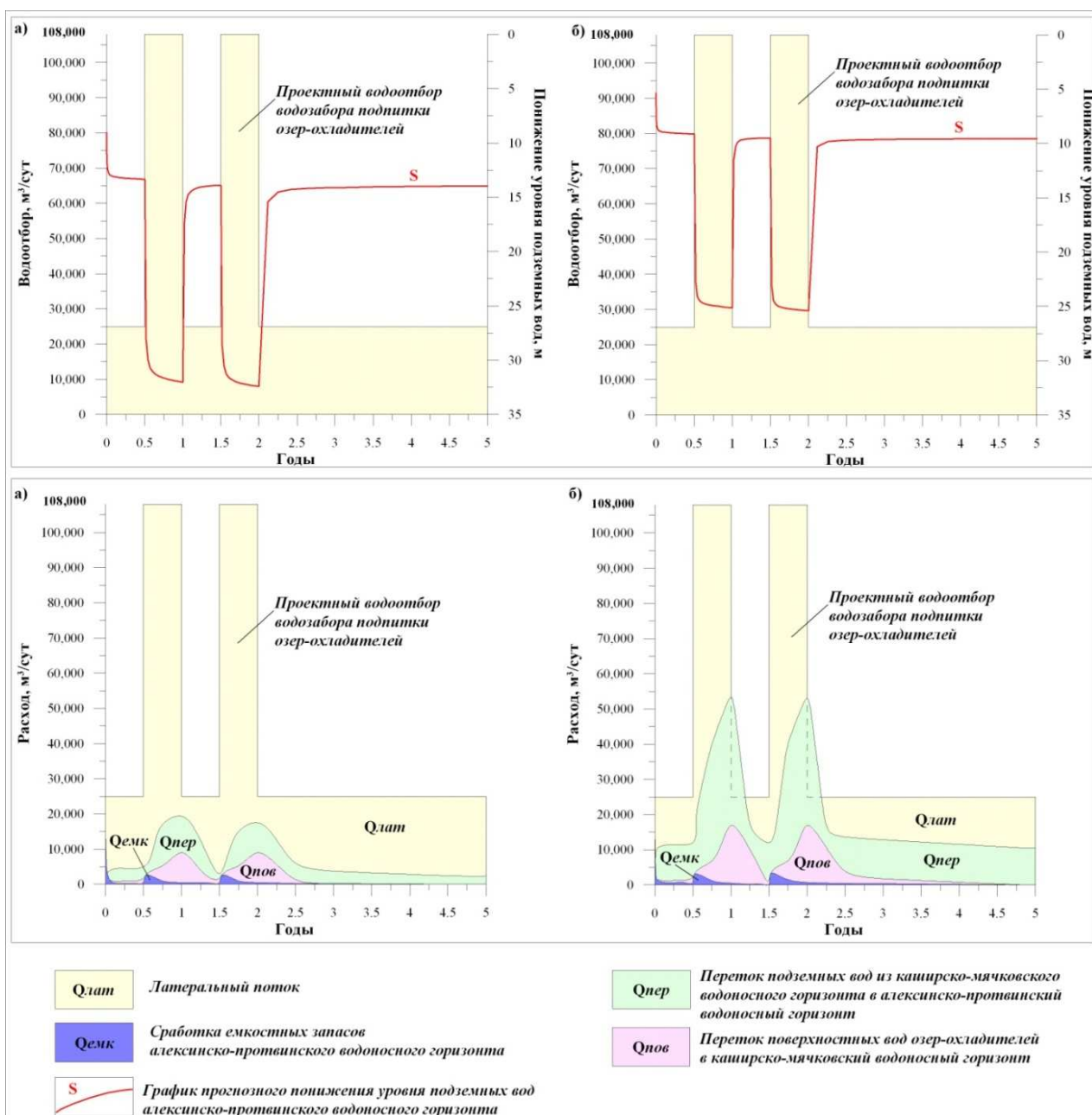


Рисунок 2. Графики проектного водоотбора и прогнозного понижения уровня подземных вод алексинско-протвинского водоносного горизонта (вверху). Баланс подземных вод в зоне распространения древней долины реки Съежи (внизу). а) с учетом палеодолины; б) без учета палеодолины.

С целью изучения влияния эксплуатации водозабора подпитки озер-охладителей на формирование гидродинамического баланса был решен ряд балансовых и имитационных гидродинамических задач на численной математической модели. При решении были рассмотрены варианты эксплуатации каширско-мячковского и алексинско-протвинского водоносных горизонтов среднего и нижнего карбона соответственно, с максимальной нагрузкой $1.25 \text{ м}^3/\text{с}$ в маловодные периоды.

Вариант 1. В данном варианте продуктивным водоносным горизонтом принят среднекаменноугольный каширско-мячковский. Результаты расчетов приведены в обобщенной таблице 4. Изменение величин подземного стока

представляет собой ущерб, наносимый водному балансу озер-охладителей эксплуатацией. В таблице 4 (вариант 1-а) приведены приходные статьи водного баланса водоемов-охладителей с учетом их подпитки и ущерба стоку, также показано процентное изменение статей баланса по сравнению с современными условиями. Суммарный ущерб поверхностному и подземному стоку озер-охладителей Калининской АЭС при рассматриваемом варианте эксплуатации водозабора подпитки озер составляет **20%**.

Вариант 2. В данном варианте продуктивным водоносным горизонтом принят алексинско-протвинский. Ущерб поверхностному и подземному стоку озер-охладителей Калининской АЭС при рассматриваемом варианте крайне мал и составляет **2%** (табл.4 вар.2-а).

Варианты 3 и 4 являются аналогами вариантов 1 и 2, отличаются только наличием на модели древней долины реки Съежи. Доля подземных вод в общем водном балансе водоемов-охладителей составляет 6%. В таблице 4 показано, как в процентах изменились величины статей баланса в современных условиях после задания на модели палеодолины. Данное изменение связано с ухудшением фильтрационных свойств каширско-мячковского водоносного горизонта под акваторией озера Удомля, где известняки высокой проводимости были заменены на песчано-глинистые отложения палеодолины с низким вертикальным коэффициентом фильтрации.

Вариант 3. В данном варианте продуктивным водоносным горизонтом принят каширско-мячковский. Суммарный ущерб поверхностному и подземному стоку озер-охладителей составляет **15%**. (табл.4 вар.3-а).

Вариант 4. Продуктивным водоносным горизонтом принят алексинско-протвинский. Суммарный ущерб поверхностному и подземному стоку озер-охладителей составляет **12%** (табл.4 вар.4-а).

Защищаемое положение 3

Наиболее оптимальным вариантом использования подземных вод для подпитки озер-охладителей, минимизирующим неизбежный при этом ущерб поверхностному и подземному стоку, обоснованный результатами решения серии гидродинамических, имитационных и балансовых задач на математических моделях гидрогеологических условий водосборной площади озер-охладителей, является эксплуатация алексинско-протвинского водоносного горизонта нижнего карбона по схеме, предусматривающей, как ординарный, так и форсированный режим эксплуатации. При реализации подпитки параметры отбора постоянно контролируются и в случае необходимости корректируются по результатам мониторинга гидродинамического, гидрохимического и температурного состояния подземных и поверхностных вод, система которого обоснована в работе.

Принудительный отбор подземных вод, как ординарный, так и форсированный, скважинными водозаборами позволяет нейтрализовать дефицит приходных статей баланса в маловодные годы. Пределы допустимой

величины водоотбора определяются эксплуатационными возможностями водоносных горизонтов.

В результате планируемой интенсивной эксплуатации водозабора подпитки озер-охладителей Калининской АЭС произойдет перехват части потока подземных вод, разгружающихся в водоемы-охладители, и возможна инверсия потока подземных вод. Для предотвращения негативных экологических последствий, связанных с изменением водного баланса под влиянием эксплуатации, в частности сокращением величины разгрузки подземных вод в поверхностные водотоки, необходимо, как это ни парадоксально, увеличивать водоотбор. Его величина должна быть равной сумме количества воды, необходимого для компенсации потерь при испарении и количества воды, на которое уменьшается разгрузка подземных вод в озера-охладители.

Таким образом, одной из целей исследовательской работы, результаты которой приведены в данной диссертационной работе, является поиск оптимального варианта эксплуатации водозабора подпитки водоемов-охладителей, при котором будет достигнут компромисс между величиной водоотбора и ущербом поверхностному стоку.

С целью поиска оптимального варианта водоотбора был решен ряд балансовых и имитационных гидродинамических задач на численной математической модели. При решении были рассмотрены варианты эксплуатации каширско-мячковского и алексинско-протвинского водоносных горизонтов среднего и нижнего карбона соответственно, при двух различных вариантах водоотбора. Дебиты водозаборов задавались исходя из потребностей Калининской АЭС ($0.75 \text{ м}^3/\text{с}$ в штатном режиме с максимальной нагрузкой $1.25 \text{ м}^3/\text{с}$ в течение 6 месяцев в маловодные периоды) и рекомендаций ИВП РАН ($0.9 \text{ м}^3/\text{с}$ в режиме непрерывной эксплуатации). Изменение величин различных статей баланса при двух режимах водоотбора ($0.9 \text{ м}^3/\text{с}$ и $1.25 \text{ м}^3/\text{с}$) различаются слабо, поэтому далее будет приведено описание вариантов эксплуатации, соответствующих потребности Калининской АЭС, то есть максимальной нагрузке на водозабор.

Нижеприведенные варианты эксплуатации аналогичны вариантам, описанным в разделе защищаемого положения 2.

Вариант 1. В каширско-мячковском водоносном горизонте образовалась депрессионная воронка с максимальным модельным понижением уровня подземных вод 24 м и радиусом 15 км. Оценив ущерб, нанесенный эксплуатацией поверхностному и подземному стокам (табл.4 вар.1-а), необходимо принимать меры по его компенсации, а именно повышать дебит водозабора до тех пор, пока дополнительная величина водоотбора не перекроет величину ущерба. В данном варианте водоотбор необходимо увеличить на **50%** до **161 тыс.м³/сут (1.86 м³/с)** (табл.4 вар.1-б).

Вариант 2. В результате эксплуатации в продуктивном алексинско-протвинском водоносном горизонте образуется обширная депрессионная воронка с максимальным расчетным понижением уровня подземных вод 25 м и

радиусом около 45 км. Для нейтрализации ущерба (табл.4 вар.2-а) следует повысить дебит водозабора на **7%** до **116 тыс.м³/сут (1.3 м³/с)** (табл.4 вар.2-б).

Благодаря усилению вертикального перетока при наличии палеодолины понижения уровня подземных вод каширско-мячковского и алексинско-протвинского водоносных горизонтов уменьшаются на 2-3 метра, а площадь депрессионных воронок сокращается.

Вариант 3. Для нейтрализации негативных последствий эксплуатации (табл.4 вар.3-а) следует повысить величину водоотбора на **42%** до **153 тыс.м³/сут (1.77 м³/с)** (табл.4 вар.3-б).

Вариант 4. Для компенсации ущерба (табл.4 вар.4-а) необходимо увеличить величину водоотбора на **33%** до **143 тыс.м³/сут (1.66 м³/с)** (табл.4 вар.4-б).

Обоснование системы мониторинга гидродинамического, гидрохимического и температурного состояния подземных и поверхностных вод

В результате разработки автором системы мониторинга состояния подземных и поверхностных вод обоснованы схемы и состав размещения пунктов наблюдений, обеспечивающих гидродинамическую, гидротермическую и гидрохимическую информацию, а также регламенты наблюдений, формы информации для ведения компьютерной базы данных, условия ведения постоянно действующей математической модели геофильтрации и геомиграции (ПДМ) района Калининской АЭС, обеспечивающей принятие необходимых управляющих решений в ходе эксплуатации дополнительного источника водоснабжения.

Исходя из представлений о гидрогеологических условиях Удомельского района и площади влияния водозабора подпитки озер-охладителей, выявленных методом математического моделирования, было намечено выполнение режимных наблюдений по 14 ярусным кустам наблюдательных скважин, оборудованных на различные водоносные горизонты. Расположение кустов наблюдательных скважин обосновано изменением проводимости водоносных горизонтов и направлением потока подземных вод.

По выбранным скважинам намечено выполнение ежесуточных наблюдений за уровнем подземных вод и температурой по всей глубине скважин. Качество подземных вод будет наблюдаться в эксплуатационных скважинах.

Помимо мониторинга подземных вод необходимо изучение состояния поверхностных вод в ходе эксплуатации водозабора подпитки озер-охладителей. В работе предусматривается проведение наблюдений по 12 гидрометрическим постам, что позволит учесть возможные потери речного стока.

Результаты режимных наблюдений за уровнем, температурой и качеством подземных и поверхностных вод заносятся в текущую пополняемую базу данных в виде электронных таблиц.

Варианты без учета палеодолины			Варианты с учетом палеодолины		
Современные условия			Современные условия		
Приходная часть	тыс.м ³ /сут		Приходная часть	тыс.м ³ /сут	
Осадки	33.2		Осадки	33.2	
Речной приток	151.3		Речной приток	166.2	10%**
Разгрузка подземных вод	30.5		Разгрузка подземных вод	15.3	50%**
Промышленный сток	25.2		Промышленный сток	25.2	
Сумма приходных статей	240.2		Сумма приходных статей	239.9	
Вариант 1 - а			Вариант 3 - а		
Приходная часть	тыс.м ³ /сут	Δ*	Приходная часть	тыс.м ³ /сут	Δ*
Осадки	33.2		Осадки	33.2	
Речной приток	120.5	20%	Речной приток	138.6	17%
Разгрузка подземных вод	14.0	55%	Разгрузка подземных вод	6.0	60%
Промышленный сток	25.2		Промышленный сток	25.2	
Подпитка водоемов-охладителей	108.0		Подпитка водоемов-охладителей	108.0	
Сумма приходных статей	300.9		Сумма приходных статей	311.0	
Вариант 1 - б			Вариант 3 - б		
Приходная часть	тыс.м ³ /сут		Приходная часть	тыс.м ³ /сут	
Осадки	33.2		Осадки	33.2	
Речной приток	115.1	24%	Речной приток	133.6	20%
Разгрузка подземных вод	13.7	55%	Разгрузка подземных вод	5.5	65%
Промышленный сток	25.2		Промышленный сток	25.2	
Подпитка водоемов-охладителей	161.0	50%	Подпитка водоемов-охладителей	153.0	42%
Сумма приходных статей	348.1		Сумма приходных статей	350.4	
Вариант 2 - а			Вариант 4 - а		
Приходная часть	тыс.м ³ /сут	Δ*	Приходная часть	тыс.м ³ /сут	Δ*
Осадки	33.2		Осадки	33.2	
Речной приток	147.1	3%	Речной приток	141.5	15%
Разгрузка подземных вод	29.7	3%	Разгрузка подземных вод	11.3	26%
Промышленный сток	25.2		Промышленный сток	25.2	
Подпитка водоемов-охладителей	108.0		Подпитка водоемов-охладителей	108.0	
Сумма приходных статей	343.2		Сумма приходных статей	319.2	
Вариант 2 - б			Вариант 4 - б		
Приходная часть	тыс.м ³ /сут		Приходная часть	тыс.м ³ /сут	
Осадки	33.2		Осадки	33.2	
Речной приток	146.0	4%	Речной приток	138.7	17%
Разгрузка подземных вод	28.8	5%	Разгрузка подземных вод	10.1	34%
Промышленный сток	25.2		Промышленный сток	25.2	
Подпитка водоемов-охладителей	116.0	7%	Подпитка водоемов-охладителей	143.0	33%
Сумма приходных статей	349.2		Сумма приходных статей	350.2	

* Δ - процентное изменение статей баланса по сравнению с современными условиями.

** - процентное изменение статей баланса по сравнению с современными условиями без учета палеодолины.

Таблица 4. Обобщенная таблица приходных статей водного баланса озер-охладителей Калининской АЭС

Данные, полученные в результате проведения мониторинга состояния подземных и поверхностных вод, будут своевременно заноситься в ПДМ (постоянно действующую модель), посредством решения обратных задач модель будет уточняться. Моделироваться будут процессы гидродинамики, геофильтрации, тепло- и массопереноса.

Таким образом, будут получены данные, необходимые для управления эксплуатацией водозабора подпитки озер-охладителей Калининской АЭС и поддержания их баланса в заданных пределах, т.е. система мониторинга позволит регулировать водоотбор таким образом, чтобы предотвратить негативные изменения водного баланса водоемов-охладителей.

Заключение

Доказано, что Подземные воды являются важной составляющей водного баланса озер Песьво и Удомля, используемых в качестве водоемов-охладителей реакторных блоков Калининской АЭС. Доля подземных вод в естественном балансе озер составляет от 9% до 20% в маловодные периоды. Оценка всех составляющих баланса озер-охладителей, в том числе - доли подземных вод в общей величине - необходима для определения оптимальных параметров подпитки озер-охладителей подземными водами и обоснования рационального режима эксплуатации водозаборных сооружений.

Математически доказано, что наличие древней долины реки Съежи существенно влияет на формирования баланса и поведение уровня подземных вод каширско-мячковского и алексинско-протвинского водоносных горизонтов среднего и нижнего карбона, как в естественных, так и в нарушенных условиях. Автор диссертационной работы считает, что необходимо проведение дополнительных геофизических исследований на местности с целью определения контуров распространения палеодолины, также следует обязательно учитывать факт наличия фильтрационных окон при дальнейшем изучении гидрогеологической ситуации Удомельского района и участка расположения Калининской АЭС в частности.

Для целей подпитки озер-охладителей реакторных блоков Калининской АЭС независимо от наличия и пространственной формы древней долины реки Съежи наиболее рационально проводить водоотбор из изолированного алексинско-протвинского водоносного горизонта нижнего карбона по схеме, предусматривающей, как ординарный, так и форсированный режим эксплуатации, так как наносимый в этом случае ущерб поверхностному и подземному стоку слабее, что позволяет увеличивать водоотбор до компромиссной величины, при которой наносимый водному балансу ущерб будет сведен к минимуму, что выгодно, в том числе, и с экономической точки зрения.

При реализации подпитки параметры отбора постоянно контролируются и в случае необходимости корректируются по результатам мониторинга гидродинамического, гидрохимического и температурного состояния подземных и поверхностных вод, разработанного в настоящей работе. Данные о расходах, температуре и качестве подземных вод, получаемые в результате ведения мониторинга, в том числе ПДМ, позволяют учитывать подземную составляющую при оценках водного, температурного и гидрохимического баланса озер-охладителей и обосновании нормативов допустимых воздействий на них.

Основные положения диссертации опубликованы в изданиях, рекомендуемых ВАК:

1. Беляков М.В., Просеков А.М. Влияние палеодолины реки Съежи на формирование баланса подземных и поверхностных вод при эксплуатации водозабора подпитки озер-охладителей Калининской АЭС // Разведка и охрана недр, 10-2010, стр. 47-51.

2. Беляков М.В. Влияние отбора подземных вод для подпитки озер-охладителей реакторных блоков Калининской АЭС на изменение их водного баланса // Геоэкология, №3, 2011 г., стр. 254-264.

В других изданиях:

3. Беляков М.В. Обоснование системы мониторинга подземных вод и разработка регламента эксплуатации водозабора подпитки озер-охладителей Калининской АЭС с целью изучения ее влияния на водный баланс озер // материалы научно-практической конференции «Питьевые подземные воды. Изучение, использование и информационные технологии», ФГУП «ВСЕГИНГЕО», 2011 г.

4. Беляков М.В. Обоснование и построение геофильтрационной модели района Калининской АЭС // тезисы докладов научной конференции «Комплексные проблемы гидрогеологии», СПбГУ, 2011 г.

5. Беляков М.В., Просеков А.М. Разработка программы мониторинга состояния подземных вод в зоне возможного влияния подземного водозабора Калининской АЭС для подпитки озер-охладителей с целью управления его эксплуатацией и поддержания баланса водоемов в заданных пределах // материалы «Пятой всероссийской конференции изыскательских организаций», ОАО ПНИИИС, 2010 г.

6. Беляков М.В. Обоснование системы мониторинга подземных вод на участке Калининской АЭС с целью изучения влияния их эксплуатации на баланс озер-охладителей // материалы «Первой всероссийской конференции молодых ученых, посвященной памяти Валерия Александровича Мироненко», 2010 г.