

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
Институт водных проблем и гидроэнергетики

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН
Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии

Таджикский национальный университет

Межгосударственный диссертационный совет Д 25.17.544

На правах рукописи

УДК 556.3.01: 556.013:626.811

ЛИТВАК РАФАЭЛЬ ГРИГОРЬЕВИЧ

РЕШЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
МАТЕМАТИЧЕСКИМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ В УСЛОВИЯХ
МЕЖГОРНЫХ ДОЛИН КЫРГЫЗСТАНА

25.00.07. – Гидрогеология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Бишкек
2019

Работа выполнена в Кыргызском научно - исследовательском институте ирригации (КНИИИР)

Научный консультант:

Доктор технических наук, академик НАН
Кыргызской Республики,
академик АН Республики Таджикистан
Дюшен Маматканович Маматканов

Официальные
оппоненты:

Профессор кафедры экологической инженерии Кыргызско-Турецкого университета «Манас», д.т.н. проф.
КОЖОБАЕВ КАНАТБЕК АСЕКОВИЧ (25.00.07, 25.00.08)

Начальник отдела геоэкологии и математического моделирования ТОО « Гидрогеоэкологическая научно-производственная и проектная организация КазГИДЭК, д.г.-м.н . **ПОДОЛЬНЫЙ ОЛЕГ ВЛАДИМИРОВИЧ** (25.00.07)

Руководитель Зонального гидрогеолого - мелиоративного центра Комитета по водным ресурсам Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан д.т.н. **ШАКИБАЕВ ИЛАН ИСАТАЕВИЧ** (25.00.07).

Ведущая
организация:

Государственный комитет промышленности, энергетики и недропользования при Правительстве КР

Защита диссертации состоится 11.01.2019 г. в 10 часов на заседании Межгосударственного Диссертационного Совета Д **25.17.544** при Институте водных проблем и гидроэнергетики НАН КР, Институте водных проблем, гидроэнергетики и экологии АН Республики Таджикистан и Таджикском национальном университете, в режиме он-лайн, по адресам: г. Бишкек, ул. Фрунзе 53; г. Душанбе, ул. Айни, 14А.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института водных проблем и гидроэнергетики НАН КР, по адресу 720033, Кыргызская Республика г. Бишкек, ул. Фрунзе 53, тел. +996 312 323728, E-mail: tv_tuzova@mail.ru; г. Душанбе, ул. Айни, 14А. E-mail: owp@tojikiston.com; телефон: +992(372) 2222320 и на сайте <http://www/vak.kg>.

Автореферат разослан « 11 » декабря 2018 г.

Ученый секретарь Межгосударственного диссертационного совета Д 25.17.544, кандидат физико-математических наук



Т. В. Тузова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одна из главных угроз благосостоянию и здоровью населения межгорных долин Кыргызстана – подтопление подземными водами. Особо опасно, когда уровень грунтовых вод находится на глубине 0 – 1 м. При таких глубинах происходит интенсивная деградация земель, разрушаются фундаменты строений, увеличивается риск ряда заболеваний (малярия, туберкулез). В постановлении Правительства КР (№132, от 14 марта 2003 г.) «О мерах по подготовке и проведению противопаводковых мероприятий и понижению уровня грунтовых вод на территории Кыргызской Республики» отмечено, что в целом по стране «...185 населённых пунктов подвержены подтоплению и более 100 находятся в потенциальных зонах подтопления». Для эффективной борьбы с подтоплением (особенно в сложных природных и водохозяйственных условиях межгорных долин) необходимо количественное выявление его причин, что невозможно без активного применения моделирования фильтрации подземных вод. Кроме того, математическое моделирование необходимо для обоснования и поиска рациональных проектных решений при проектировании защитных систем.

Важными компонентами рационального управления и охраны водных ресурсов являются проблемы мониторинга и определения степени естественной уязвимости подземных вод. В диссертационной работе решались вопросы оптимизации схем мониторинга и комплексной оценки влияния гидрогеологических факторов на уязвимость водоносных горизонтов.

Указанные обстоятельства говорят о высокой степени актуальности задач, решаемых в данной диссертационной работе.

Связь работы с научными программами и темами. Диссертационные исследования проведены с 1983 по 2018 гг. во время работы автора в Лаборатории мелиоративной гидрогеологии и водохозяйственных проблем Кыргызского НИИ Ирригации в качестве заведующего лабораторией, ответственного исполнителя и руководителя тем. Часть исследований выполнено в период работы автора в Институте водных проблем и гидроэнергетики НАН КР.

Тематика исследований входила в государственные планы научных исследований упомянутых Институтов. Эти планы соответствуют государственным программам: «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», «Стратегия развития Кыргызской Республики до 2020. Национальная стратегия устойчивого развития (НСУР) на период 2013-2017 годов, «О мерах по подготовке и проведению противопаводковых мероприятий, понижению уровня грунтовых вод на территории Кыргызской Республики».

Выполненные исследования предусмотрены отраслевыми программами Министерства сельского и водного хозяйства промышленности КР, программами научных исследований Министерства образования и науки КР.

Цель и задачи исследований. Основная цель исследований – разработка и модификация методов моделирования фильтрационных процессов для решения проблем защиты населенных пунктов и орошаемых территорий от подтопления подземными водами, оценки естественной уязвимости водоносных гори-

зонтов, мониторинга подземных вод и для решения других гидрогеологических проблем. Методы моделирования разрабатываются применительно к специфическим условиям межгорных долин Кыргызстана, но могут быть обобщены для других межгорных долин с аридным климатом и характерным слоистым строением четвертичных отложений.

Многие проблемы, связанные с проектированием и обоснованием гидрогеологических и водохозяйственных объектов могут быть решены на основе объемных сеточных моделей, включающих десятки тысяч пространственных блоков. Применение таких моделей требует больших трудозатрат, серьезной специальной подготовки и наличия дорогостоящего программного обеспечения. Подобная модель создана автором и использована при рассмотрении сценариев защиты северной части г. Бишкек от подтопления подземными водами (глава 3 диссертационной работы). Применение моделей, основанных на аналитических решениях – менее трудоемкий процесс, но он имеет ряд существенных ограничений. Исследования, направленные на научно обоснованное уменьшение трудозатрат при создании фильтрационных моделей (при учете характерных особенностей моделируемого объекта) весьма актуальны. В главе 4 использована сеточная модель с уменьшенным, но вполне достаточным для решения поставленной задачи количеством блоков. Достаточность обоснована сопоставлением модельных и фактических изменений напоров подземных вод. Во второй главе получены новые аналитические решения и оценки, позволяющие значительно уменьшить трудозатраты на процесс моделирования при сохранении достоверности результатов. В шестой главе предложено использовать одномерные нестационарные модели как инструмент обоснования схем мониторинга подземных вод. Применение современных программных пакетов позволяет эффективно реализовывать математические модели, основанные на применении аналитических решений.

Для достижения указанной цели автором необходимо решить следующие задачи:

- 1) Разработка количественного критерия значимости изменений напоров нижележащих водоносных слоев при расчетах горизонтального дренажа. Критерий рекомендуется использовать при аналитических расчетах и при схематизации водоносной толщи для последующего геофильтрационного моделирования.
- 2) Получение зависимостей для расчетов понижений уровней грунтовых вод от действия дренажных скважин в условиях аридного климата с учетом неоднородной инверсии испарения грунтовых вод.
- 3) Разработка методики эффективного учета инверсии испарения грунтовых вод, при аналитических расчетах систем горизонтального дренажа в условиях аридного климата межгорных долин Центральной Азии.
- 4) Получение аналитических зависимостей для оценки влияния дополнительного водозабора подземных вод и реконструкции орошения в зоне формирования на уровне подземных вод зоны выклинивания Чуйской долины. Метод должен основываться на аналитических зависимостях. При этом необходимо учесть следующие характерные особенности долины: резкое уменьшение водо-

проводимости на границе зон формирования и выклинивания; различные закономерности испарения грунтовых вод в разных фильтрационных зонах.

5) Создание нестационарной многослойной модели фильтрации подземных вод зоны расположения г. Бишкек для воспроизведения различных сценариев понижения уровней грунтовых вод северной части города.

6) Исследование причин интенсивного подъема уровней подземных вод на территории А/О «Савай» Карасуйского района Ошской области Кыргызстана. Разработка схемы дренажных мероприятий на подтопленных территориях.

7) Разработка метода комплексного учета гидрогеологических факторов для оценки естественной уязвимости водоносных горизонтов, слоистого строения, типичного для межгорных долин Центральной Азии.

8) Обоснование рациональной схемы режимных наблюдений за уровнями подземных вод с использованием одномерных нестационарных фильтрационных моделей на примере провальной зоны р. Чу.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработан ряд новых методов и критериев применительно к обоснованию и расчетам осушительного действия дренажных систем, ориентированных на особенности межгорных долин Кыргызстана. Среди этих особенностей – слоистое строение осушаемых территорий, существенное влияние испарения грунтовых вод и его зависимость от глубины их залегания, скачкообразное уменьшение водопроводимости четвертичных отложений при переходе потока подземных вод из зоны формирования в зону выклинивания. Разработанные методы направлены: на обоснование схематизации слоистой водоносной толщи при расчетах горизонтального дренажа; на повышение достоверности учета испарения грунтовых вод в фильтрационных моделях; на количественную оценку влияния дополнительного водозабора подземных вод и реконструкции орошения в зоне формирования на уровни грунтовых вод зоны выклинивания Чуйской долины.

2. Получено новое решение задачи о дренажной скважине в слоистом водоносном горизонте, учитывающее разный характер инверсии испарения грунтовых вод на разных расстояниях от скважины. Границы зон различного характера инверсии испарения заранее неизвестны и определяются в процессе решения задачи. Необходимость получения нового решения диктовалась аридным характером климата и невозможностью с помощью существующих аналитических зависимостей прогнозировать дренажный эффект на расстояниях более 50-60 м от дренажной скважины в рассматриваемых условиях.

3. Впервые для условий Кыргызстана исследовано ожидаемое изменение дренажного модуля во времени на многослойной модели фильтрации. В начальный момент дренажный модуль в 2-3 раза больше, чем после стабилизации уровней подземных вод. Этот эффект необходимо учитывать при проектировании дренажных систем для защиты населенных пунктов от подтопления подземными водами.

4. Разработан метод комплексного учета гидрогеологических факторов для оценки естественной уязвимости водоносных горизонтов, слоистого строения, типичного для межгорных долин Центральной Азии.

Практическая значимость полученных результатов:

1. Проведено моделирование и сопоставительная оценка различных сценариев понижения уровней грунтовых вод северной части г. Бишкек.
2. Вскрыты причины интенсивного подъема уровней подземных вод на территории А/О «Савай» Карасуйского района Ошской области Кыргызстана. Разработаны схемы соответствующих дренажных мероприятий.
3. На основе разработанной методики комплексного учета гидрогеологических факторов для оценки естественной уязвимости водоносных горизонтов, слоистого строения создана карта уязвимости первого от поверхности водоносного горизонта Чуйской долины.
4. Результаты исследований автора являются неотъемлемой частью научных работ, посвященных решению актуальных практических задач, к числу которых относятся:
 - 1) Применение методов моделирования геофильтрации для изучения условий использования вертикального дренажа на Атбашинской площади (1987-1991);
 - 2) Разработка автоматизированной системы расчета испарения грунтовых вод для оценки запасов подземных вод межгорных впадин (на примере Ала-Арчинского месторождения подземных вод Чуйской впадины) (1991);
 - 3) Уточнение прогноза подъема УГВ на территории, прилегающей к русловому Нижне-Алаарчинскому водохранилищу (1993);
 - 4) Обоснование дренажных мероприятий на жилом массиве Бакай-Ата (1996);
 - 5) Обоснование дренажных мероприятий на жилом массиве Мессароша (1997);
 - 6) Обоснование первоочередных мер по снижению УГВ на мелиоративно-неблагополучных землях западной части Чуйской долины на основе моделирования гидрогеологических процессов (2000);
 - 7) Разработка компьютерной системы расчетов горизонтального дренажа для условий фермерских хозяйств Чуйской долины (2001);
 - 8) Оценка естественной защищенности подземных вод Чуйской долины от загрязнения на основе математического моделирования фильтрационных процессов (2002-2003);
 - 9) Создание компьютерной постоянно обновляемой системы хранения и анализа данных режима уровней грунтовых вод Чуйской долины (2004-2006);
 - 10) Понижение УГВ с. Вознесеновка (2006);
 - 11) Понижение уровней грунтовых вод в с. Полтавка (2007);
 - 12) Понижение уровней грунтовых вод в с. Буденовка и с. Кенеш (2007);
 - 13) Оценка влияния новых орошаемых земель на уровни грунтовых вод старо-орошаемых территорий Баткенской долины (2008);
 - 14) Понижение уровней грунтовых вод в северной части г. Бишкек (2008);
 - 15) Количественный анализ причин интенсивного подъема уровней грунтовых вод на территории А/О «Савай» Карасуйского района Ошской области (2009);
 - 16) Изучение взаимосвязи реки Чу с подземными водами в зоне г. Токмак для решения задач управления водными ресурсами (2010);
 - 17) Разработка схем защиты от подтопления подземными водами территории Чуйской и Ферганской долин Кыргызской Республики на основе геофильтрационных моделей (2011-2015);

18) Разработка схем развития водозабора подземных вод в Чуйской долине для целей орошения в условиях изменения климата (2016-2017).

Имеется 6 актов использования и внедрения научных исследований, вошедших в тематику диссертации.

Экономическая значимость полученных результатов.

Экономическая значимость проведенных исследований заключается в следующем:

1. Реализация технических Проектов, включающих исследования соискателя, приводит к осушению подтопленных населенных пунктов, что существенно повышает качество жизни населения. Отводится угроза разрушения жилых домов и коммуникаций. Появляется возможность пользования подвальными помещениями для хранения сельскохозяйственной продукции, повышается плодородие садов. Снижается заболеваемость рядом опасных инфекций, прежде всего малярией.

2. Понижение уровня грунтовых вод на орошаемых территориях ниже критического уровня приводит к прекращению испарения грунтовых вод, что предотвращает процессы вторичного засоления и сохраняет плодородие орошаемых земель.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Рациональные сценарии понижения уровней грунтовых вод северной части г. Бишкек. Научное обоснование рассматриваемых сценариев произведено на основе геофильтрационного моделирования.

2. Научно обоснованные схемы дренирования и выявленные ретроспективным моделированием причины интенсивного подъема уровней подземных вод на территории А/О «Савай» Карасуйского района Ошской области Кыргызстана. Результаты ретроспективного моделирования сопоставлялись с фактическими данными режимных скважин.

3. Методология построения аналитических решений фильтрационных задач в условиях аридного климата с учетом неоднородной инверсии испарения грунтовых вод.

4. Количественный критерий оценки значимости изменений напоров нижележащего водоносного слоя при моделировании горизонтального дренажа различными методами.

5. Научно обоснованная схема режимных наблюдений за уровнями подземных вод провальной зоны р. Чу, предназначенная для оценки влияния значительных изменений фильтрационных потерь в провальной зоне р. Чу на уровни подземных вод.

6. Метод комплексного учета гидрогеологических факторов для оценки естественной уязвимости водоносных горизонтов слоистого строения, типичного для межгорных долин Центральной Азии.

Личный вклад соискателя.

Соискателем самостоятельно решены следующие задачи:

- Получение новых зависимостей для расчетов дренажных скважин и решения других проблем применительно к условиям межгорных долин Кыргызстана.

- Конструирование численных алгоритмов для реализации созданных математических моделей, базирующихся на аналитических решениях.

- Создание сеточной многослойной нестационарной модели фильтрации подземных вод зоны расположения г. Бишкек. Подготовка громоздких массивов исходных данных осуществлялась сотрудниками Лаборатории Мелиоративной Гидрогеологии и Водохозяйственных Проблем КНИИИР, руководимой автором диссертационной работы.

- Моделирование различных сценариев, направленных на решение изучаемых гидрогеологических проблем. Сопоставительная оценка и выбор наиболее рациональных вариантов.

Апробация работы Материалы диссертации докладывались:

- на Ученых Советах Кыргызского НИИ Ирригации;
- на Ученых Советах Института Водных Проблем и Гидроэнергетики НАН КР;

- На Международной научно– практической конференции «Гидроэнергетические ресурсы Центральной Азии: значения, проблемы и перспективы» (Душанбе, Таджикистан, 2018);

- на Международном научном семинаре «Техника для сбора, анализа и управления данными по ресурсам поверхностных и подземных вод» (Нью Хампшир, США, 2016);

- на Международном семинаре «Перспективы сотрудничества между странами Европейского Содружества и Центральной Азии в водохозяйственных исследованиях» (Афины, Греция, 2016);

- на Международной конференции «Проблемы обеспечения продовольственной безопасности государств - участников СНГ» (Бишкек, Кыргызстан, 2011);

- на Международной конференции Академий наук (Бишкек, Кыргызстан, 2011);

- на Международном научном семинаре НАТО “Изменение климата и его влияние на водоснабжение» (Измир, Турция, 2010);

- на Международном научном семинаре «Моделирование фильтрации подземных вод в аридных и полупустынных зонах» (Ланьчжоу, Китай, 2007);

- на Международном научном семинаре НАТО “Подземные воды и экосистемы» (Чанак-Кале, Турция, 2005);

- на VI Всероссийском гидрологическом съезде, Секция Водный баланс, ресурсы поверхностных и подземных вод. (Санкт-Петербург, Россия, 2004);

-на 32 Конгрессе Международной Ассоциации Гидрогеологов (Mar del Plata, Argentina, 2002);

- на Международном научном семинаре НАТО «Гидрогеологические проблемы городских территорий и промышленных центров» (Баку, Азербайджан, 2001);

- на Национальном семинаре «По борьбе с опустыниванием земель в Кыргызстане» (Бишкек, Кыргызстан, 1997);

- на Международной конференции «Высокогорные исследования: изменения и перспективы в XXI веке» (Бишкек, Кыргызстан, 1996);

- на Всесоюзной научно-технической конференции «Совершенствование автоматизации оросительных систем» (Херсон, Украина, 1987);
- на Всесоюзном научном семинаре «Математическое моделирование гидрогеологических процессов» (Душанбе, Таджикистан, 1987);
- на Республиканской научной конференции молодых учёных (Фрунзе, Кыргызстан, 1986);
- на Ученом Совете мелиорации и водохозяйственных проблем САНИИРИ (Ташкент, Узбекистан, протокол № 10 от 29 марта 1985 г.);
- на Всесоюзном научно-техническом совещании «Автоматизация водораспределения на оросительных системах в целях экономии и охраны водных ресурсов» (Фрунзе, Киргизстан, 1984);
- на Всесоюзном научном семинаре «Математическое моделирование гидрогеологических процессов» (Новосибирск, Россия, 1984).

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.

Основные научные результаты диссертационной работы опубликованы в изданиях, вошедших в перечень рецензируемых научных изданий, утвержденный ВАК Кыргызской Республики, а также в широко известных международных научных изданиях, выпускаемых издательствами Springer и Elsevier.

По теме диссертации автором опубликовано 29 работ, 21 – в рецензируемых научных изданиях, из которых 9 - в зарубежных рецензируемых изданиях (6 - в ведущих международных издательствах дальнего зарубежья «Elsevier» и «Springer»).

Объём диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов и практических рекомендаций. Объём 209 страниц, включая 66 таблиц, 47 рисунков, 4 приложения и список использованных источников из 146 наименований.

Автор выражает глубокую признательность Научному консультанту академику НАН Кыргызской Республики и АН Республики Таджикистан Д. М. Маматканову за ценные советы и внимание к диссертационной работе. Автор благодарен к.т.н. Е. И. Немальцевой, сотрудникам лаборатории Мелиоративной Гидрогеологии Кыргызского НИИ Ирригации и сотрудникам Института водных проблем и гидроэнергетики НАН КР за помощь при подготовке данной диссертационной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен краткий анализ литературных источников, использованных при выполнении исследований в рамках диссертационной работы. Основными источниками исходных данных послужили результаты работ ККГГЭ, проектного института «Кыргызгипроводхоз», ВНИИКАМС (Кыргызский НИИ Ирригации, КНИИИР), Института водных проблем НАН КР, МГУ и МГРИ, а также исследования П.Г. Григоренко, Б.И. Иманкулова.

Автор диссертационной работы на протяжении многих лет участвовал в решении научной части гидрогеологических проблем, среди которых:

- Проблемы, связанные с проектированием и обоснованием дренажных систем для защиты населенных пунктов и орошаемых территорий от подтопления подземными водами.
- Разработка и обоснование схем режимных наблюдений за уровнями подземных вод в условиях межгорных долин Кыргызстана.
- Оценка естественной защищенности (уязвимости) водоносных горизонтов применительно к условиям межгорных долин Кыргызстана.

Круг задач, решаемых в диссертационной работе, диктовался участием автора в вышеперечисленных научных исследованиях в качестве руководителя и ответственного исполнителя тем и Проектов.

В главе приведен краткий обзор и анализ публикаций на русском и английском языках по следующим вопросам: 1) возможности использования существующих решений для расчетов дренажного эффекта от скважин в условиях аридного климата; 2) возможности расчетов и обоснования систем горизонтального дренажа в условиях межгорных долин Кыргызстана; 3) возможности существующих аналитических решений профильных фильтрационных задач с учетом резкого изменения водопроницаемости на границе гидрогеологических зон и значительного испарения с поверхности грунтовых вод (существенно зависящего от глубины их залегания); 4) возможности использования математических моделей для обоснования мониторинга подземных вод и оценки их естественной уязвимости. Методические разработки, выполненные в диссертационной работе, потребовали выполнить поиск и анализ публикаций по вышеперечисленным вопросам. Они возникли из решения конкретных гидрогеологических проблем, которыми в разные годы пришлось заниматься автору диссертационной работы.

Основная часть диссертации посвящена различным проблемам защиты населенных пунктов и орошаемых территорий от подтопления подземными водами. Эти проблемы особенно актуальны для Чуйской долины. Кроме того, диссертационная работа содержит главы, посвященные задачам оценки естественной уязвимости водоносных горизонтов и обоснования схем наблюдения за уровнями подземных вод применительно к условиям межгорных долин Кыргызстана.

Ряд современных работ, связанных с расчетами скважин, посвящены созданию программных пакетов выполняющих расчеты в полуавтоматическом режиме Л. Н. Синдаловский (2006, 2011), G. S. Johnson (2001), W. C. Walton (2007). Они используют как классические решения, так и численные методы: С. Я. Концевовский (1986), П. Н. Костюкович (1979), А. Я. Олейник (1978), Г. Б. Пыхачев (1973), В. М. Шестаков (1965), N. S. Boulton (1963), R. L. Cooley (1973), A. F. Moench (1997) и др.

Следует особо отметить часто используемые в различных целях работы Тейса, Джейкоба и Хантуша M. S. Hantush (1955), C. E. Jacob (1946), Ch. V. Theis (1935). Решение Тейса получено применительно к нестационарной фильтрации к скважине в изолированном пласте. В работах Джейкоба и Хантуша получено решение для скважины с учетом перетекания из соседнего водоносного горизонта. Существенный недостаток этого решения, который труд-

но преодолеть в рамках точных аналитических решений - предположение о пренебрежимо малых понижениях в соседних с эксплуатируемым водоносных горизонтах. В некоторых частных случаях этот недостаток преодолен в работах А. Я. Олейника(1978) и В. М. Шестакова (1965).

С точки зрения оценки запасов подземных вод, производительности скважин и определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек, полученные решения вполне приемлемы. Однако, для определения дренажного эффекта от действия скважин в условиях аридного климата, когда наблюдается существенная зависимость испарения грунтовых вод от глубины их уровня, имеющиеся решения дают искаженную картину прогнозных понижений уровней грунтовых вод. При разработке схем понижения уровней грунтовых вод северной части г. Бишкек автору пришлось разрабатывать новое решение для скважин вертикального дренажа, Р. Г. Литвак (2008, 2017). В этом решении предусматривается инверсия испарения в виде константы прискважинной зоне, где поверхность грунтовых вод ниже критического уровня, и линейная зависимость инверсии испарения от глубины уровней грунтовых вод в зоне, где поверхность грунтовых вод выше критического уровня. Расположение границы между 2-мя зонами заранее неизвестно.

В большинстве случаев фильтрационные расчеты горизонтального дренажа – более простая задача, чем расчеты вертикального дренажа. Это связано с тем, что для них, как правило, можно использовать зависимости для стационарной фильтрации. Продолжительность периода неустановившейся фильтрации – достаточно мала (примерно 6 месяцев с момента начала работы дренажной системы).

Расчетные зависимости для горизонтального дренажа получены в работах С. Ф. Аверьянова (1978), ВНИИ ВОДГЕО (1991), В. А. Духовного (1979), А. Я. Олейника (1981), В. М. Шестакова (1965). Существенные трудности, связанные с обоснованием, дренажных систем – схематизация сложных гидрогеологических условий, например, схематизация слоистого строения и напорного питания дрен. В предлагаемой диссертационной работе впервые получены математические оценки, позволяющие количественно обосновывать схематизацию упомянутых факторов для последующего моделирования систем горизонтального дренажа.

В настоящее время при обосновании крупных дренажных систем и прогнозировании их влияния применяются различные виды геофильтрационного моделирования, L. Negm (2014), M. Rahman (2014), M. Turunen (2013). Каждый отдельный случай его применения результат трудоемкого научного исследования. Осушение северной части г. Бишкек (предусмотренное Проектом «Понижение уровней грунтовых вод в северной части г. Бишкек») потребовало создание геофильтрационной модели данного объекта и имитации различных сценариев осушения, что было реализовано автором и явилось составной частью ТЭО упомянутого технического Проекта. Результаты частично вошли в данную диссертационную работу.

В республике Казахстан выполнен ряд работ, связанных с построением гидрогеологических моделей, имеющих большую практическую значимость, В. Ю. Паничкин (2004), О. В. Подольный (2016), С. М. Шапиро (1988).

В Кыргызстане выполняются работы по оптимизации управления подземными водами с помощью математического моделирования, М. У. Мурзакуматов. В его статьях основное внимание уделяется математическим вопросам. Представляет интерес ряд работ, выполненных сотрудниками Института Автоматики НАН Кыргызстана в Советский период М. Д. Джаманбаевым (1981, 1996) и Ч. Д. Джаныбековым (1982, 1983, 1989, 2002). Начиная с 80-х годов прошлого века, автор диссертации опубликовал работы, связанные с научным обоснованием водохозяйственных мероприятий на основе математических моделей, Р. Г. Литвак (1983-2018).

подавляющее большинство аналитических решений предполагают плановую однородность водоносных слоев. Однако ряд исследователей находят возможность отказаться от упомянутой предпосылки, например, М. S. Hantush (1962). В этой работе получено решение при экспоненциальной зависимости мощности пласта от одной из пространственных координат. В ряде работ рекомендуются зависимости для усреднения плановой неоднородности, например, А. И. Арцев (1978), ВНИИ ВОДГЕО (1991). Следует иметь в виду, что для межгорных долин характерно резкое уменьшение водопроводимости на границе зон формирования и выклинивания подземных вод. Предлагаемые в литературных источниках методы «усреднения» водопроводимости в условиях межгорных долин Кыргызстана вносят существенные погрешности в результаты расчетов, возможности их применения весьма ограничены. При разработке и обосновании водохозяйственных мероприятий на территориях, включающих зоны формирования и выклинивания, необходимо построение полномасштабных геофильтрационных моделей, что сделано автором при рассмотрении сценариев осушения северной части г. Бишкек.

Обращает на себя внимание работа французских ученых, G. Vasseur (2015). Рассмотренная в этой статье задача может быть интерпретирована как математическая модель влияния изменения питания или водозабора подземных вод в зоне формирования на уровни подземных вод зоны выклинивания и самой зоны формирования. Полученное в рассматриваемой работе решение поставленной задачи имеет достаточно громоздкий вид и содержит ряд сложностей, связанных с его реализацией. Основным недостатком, ограничивающим сферу его применимости для межгорных долин Кыргызстана, – предположение об отсутствии испарения и выклинивания подземных вод в зонах выклинивания и транзита. Попытки автора диссертационной работы модернизировать рассматриваемую математическую модель введением упомянутых важнейших факторов не дали положительных результатов.

Для преодоления вышеописанной проблемы в рамках диссертационной работы получено решение, учитывающее испарение, выклинивание и «скачок» водопроводимости, но в условиях стационарной фильтрации. При этом учтены различные схемы испарения грунтовых вод в зонах, границы которых заранее неизвестны.

В семидесятых и восьмидесятых годах прошлого века в Кыргызстане большое значение предавалось обоснованию и созданию систем мониторинга подземных вод, В. М. Шестаков, (1980). Однако после распада Советского Союза в результате тяжелого экономического положения детальность и качество гидрогеологических наблюдений систематически снижалось. Необходимо в новых условиях разработать научно обоснованные схемы наблюдений, обеспечивающие слежение за самыми основными показателями подземных вод.

Во многих работах подчеркивается, что современный подход к обоснованию схем мониторинга базируется на применении математических моделей: В. М. Шестаков (2007), Bashi-Azghadi SN (2009), J. K. Thakur (2017). В работе В. М. Шестакова (2007) подчеркивается важность формулировок конкретной цели любого мониторинга и бесполезность многоцелевых «общих» наблюдений. При разработке схемы наблюдений одного из объектов Чуйской долины автор диссертационной работы учитывал рекомендации упомянутых авторов, а также работы исследователей Кыргызстана, например, Иманкулова Б. И. (1984).

Проблеме оценки и картирования уязвимости подземных вод посвящено значительное число работ исследователей стран СНГ и дальнего зарубежья, например, В. П. Варданян (2008), В. М. Гольдберг (1987), Н. Ф. Фетисова (2014), В. М. Шестопалов (2009), М. Abdulla (2014), R. C. Gogu (2000, 2003), B.L. Morris (2002), J. Vrba (1994). В большинстве работ использовались рейтинговые методы, в которых с помощью экспертных оценок определяется степень влияния выделенных признаков. Затем, присвоенные баллы суммируются, и степень уязвимости определяется полученной суммой баллов. Положительная сторона подобного подхода – простота и доступность. Однако этот метод в высокой степени субъективен. Предложенный автором метод учета геологической и гидрогеологической информации при оценке уязвимости (защищенности) слоистых водоносных горизонтов существенно повышает объективность оценки и достоверность результатов, Р. Г. Литвак (2003, 2005, 2006, 2018).

Во вторую главу помещены разработанные автором методы и зависимости, связанные с расчетами и обоснованием дренажных систем применительно к условиям межгорных долин Кыргызстана. Потребность в решении приведенных в этой главе методических задач диктовалась практической необходимостью, связанной с поиском рациональных решений конкретных задач для множества объектов в межгорных долинах Кыргызстана.

В главу включены следующие результаты:

- 1) Метод расчетов понижений уровней грунтовых вод от действия дренажных скважин в условиях аридного климата с учетом неоднородной инверсии испарения грунтовых вод.
- 2) Аналитические зависимости для оценки влияния дополнительного водозабора подземных вод и реконструкции орошения в зоне формирования на уровне грунтовых вод зоны выклинивания Чуйской долины. При этом учтены следующие характерные особенности долины: а) резкое уменьшение водопроницаемости на границе зон формирования и выклинивания; б) различные закономерности испарения грунтовых вод в разных фильтрационных зонах.

3) Метод (количественный критерий) оценки значимости изменений напоров нижележащего водоносного слоя при расчетах горизонтального дренажа. Критерий рекомендуется использовать при аналитических расчетах и при схематизации водоносной толщи для последующего геофильтрационного моделирования.

4) Методика эффективного учета инверсии испарения грунтовых вод при аналитических расчетах систем горизонтального дренажа в условиях аридного климата межгорных долин Центральной Азии.

Ограниченный объем автореферата не позволяет детально рассмотреть все вышеупомянутые результаты. Далее приведены краткие результаты по пунктам.

Инверсия испарения грунтовых вод – важнейший фактор, который необходимо учитывать при расчетах дренажных скважин в условиях аридного климата. При понижении уровней грунтовых вод (УГВ) ниже критического уровня объем дополнительной воды за счет уменьшения ее испарения может составить 5 – 8 тыс. м³ в год на 1 гектар и даже более. Игнорирование этого фактора при расчетах вертикального дренажа приводит к значительным погрешностям в прогнозных глубинах УГВ (в условиях северной части г. Бишкек величина погрешности составляет 1 - 2 м). Критическая глубина УГВ для Чуйской долины находится в пределах 2.5 – 3.5 м. В большинстве работ, например ВСН 33-2.2.03-86 (1987), инверсия испарения задается константой, т.е. не зависит от глубины УГВ. Это приводит к заниженному влиянию дренажных скважин на УГВ. В данной главе произведена соответствующая сопоставительная оценка.

Приемлемый для аридного климата способ задания инверсии испарения в зависимости от величины заранее неизвестных понижений глубины УГВ приведен ниже.

$$W = \frac{U_0}{S_{kr}} \cdot S \quad \text{при} \quad 0 \leq S \leq S_{kr} \quad W = U_0 \quad \text{при} \quad S > S_{kr} \quad , (2.1), (2.2)$$

где W – инверсия испарения грунтовых вод, м/сут; U_0 – испарение грунтовых вод при исходном положении УГВ, м/сут; $S = S(r)$ искомые понижения УГВ, м; r – расстояние до дренажной скважины, м; S_{kr} – величина понижения исходного УГВ до критического уровня, м.

Если УГВ не понижаются ниже критического уровня, то во всей зоне фильтрации действует зависимость (2.1), и принципиальных сложностей при решении соответствующих уравнений фильтрации нет. Не возникает проблем, если повсеместно УГВ устанавливаются ниже критического уровня. В этом случае во всей зоне фильтрации действует зависимость (2.2). Однако наиболее типичным является случай, когда в зонах, прилегающих к скважинам, УГВ устанавливаются ниже критического уровня, а вне их УГВ – выше критического уровня. Положение границы между зонами заранее неизвестно, рис. 1, 2.

Строгая математическая постановка задачи и полученное автором решение из-за громоздких выкладок в автореферате не приводится. Ниже приведены конечные зависимости:

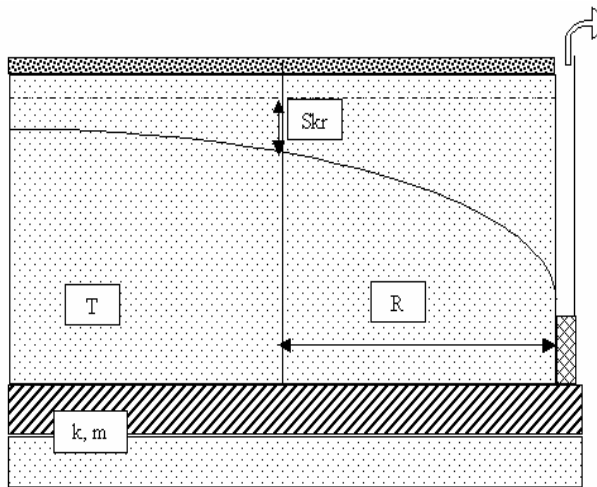


Рис. 1. Схема к расчетам понижений уровней грунтовых вод от дренажных скважин в условиях аридного климата с учетом неоднородной инверсии испарения грунтовых вод

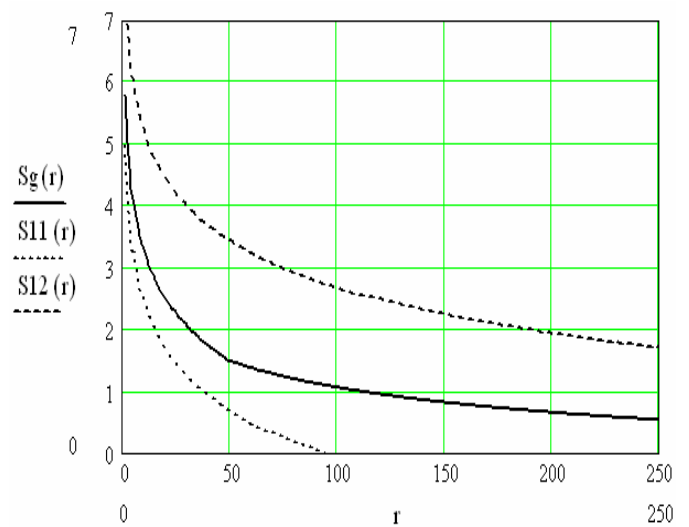


Рис. 2. Расчетные понижение под действием дренажной скважины в условиях северной части г. Бишкек (S_g – рекомендуемое решение, S_{11} – инверсия испарения не зависит от глубины УГВ, S_{12} – инверсия испарения не учитывается)

$$S_1(r) = C_1(R) \cdot I_0\left(\frac{r}{B}\right) + C_2(R) \cdot K_0\left(\frac{r}{B}\right) - \frac{B^2 \cdot W}{T}, \quad (2.2)$$

$$S_2(r) = C_3(R) \cdot I_0\left(\frac{r}{P}\right) + C_4(R) \cdot K_0\left(\frac{r}{P}\right), \quad (2.3)$$

Где $I_0(x)$, $K_0(x)$ – цилиндрические функции от мнимого аргумента нулевого порядка первого и второго рода соответственно;

$$C_3 = 0 \quad C_2 = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot T} \quad (2.3), (2.4)$$

$$C1(R) = \frac{C2 \cdot \left[\left(\frac{1}{P} \cdot \frac{K0\left(\frac{R}{B}\right)}{K0\left(\frac{R}{P}\right)} \cdot K1\left(\frac{R}{P}\right) - \frac{1}{B} \cdot K1\left(\frac{R}{B}\right) \right) \right]}{\frac{1}{P} \cdot \frac{I0\left(\frac{R}{B}\right) \cdot K1\left(\frac{R}{P}\right)}{K0\left(\frac{R}{P}\right)} + \frac{1}{B} \cdot I1\left(\frac{R}{B}\right)}, \quad (2.5)$$

$$C4(R) = C1(R) \cdot \frac{I0\left(\frac{R}{B}\right)}{K0\left(\frac{R}{P}\right)} + C2 \cdot \frac{K0\left(\frac{R}{B}\right)}{K0\left(\frac{R}{P}\right)} - \frac{B^2 \cdot \frac{W}{2}}{T \cdot K0\left(\frac{R}{P}\right)}, \quad (2.6)$$

$$S1(R) - Skr = 0, \quad (2.7)$$

где $S1(r)$ – понижения УГВ в зоне $0 < r \leq R$, м; $S2(r)$ – понижения УГВ в зоне $r \geq R$, м; R – расстояние от скважины до границы зоны с УГВ выше критического уровня, м; r – расстояние до скважины, м; T – водопроницаемость водоносного слоя, м²/сут; W – инверсия испарения грунтовых вод, м/сут.

$$B = \sqrt{\frac{T \cdot m}{k}} \quad P = \sqrt{\frac{T \cdot m}{k + a \cdot m}} \quad a = \frac{U_0}{Skr},$$

Где m , k – мощность и коэффициент фильтрации подстилающего слабопроницаемого слоя м, м/сут.

Величина R находится из уравнения (2.7) с использованием выражений (2.2) – (2.6). Упомянутое уравнение (2.7) не решается традиционными методами, его легко решить графически с любой точностью с использованием компьютерной системы Mathcad.

Для дренажной скважины с дебитом 40 л/с в условиях северной части г. Бишкек $R = 50$ м. По найденному значению R определяются произвольные постоянные $C1(R)$ и $C4(R)$, затем определяются $S1(r)$ и $S2(r)$. Для рассматриваемой в данной работе территории найденная функция понижений УГВ от действия одиночной скважины представлена на см. рис. 2. На том же рисунке приведены кривая понижений, рассчитанная без учета инверсии испарения, и кривая понижений при задании инверсии испарения в виде константы. Разница в прогнозных глубинах УГВ превышает 1м, что указывает на невозможность использования традиционных формул для расчета вертикального дренажа в климатических условиях Средней Азии. Предлагаемый в данном пункте метод позволяет существенно повысить точность и надежность расчетов вертикального дренажа для различных территорий в условиях аридного климата.

В третьей главе разработаны рациональные сценарии понижения уровней грунтовых вод северной части г. Бишкек. Научное обоснование рассматриваемых сценариев произведено на основе созданной автором геофильтрационной модели.

Рассматриваемая территория расположена к северу от трассы Бишкек – Тараз, составляет примерно 40% площади города и находится в зоне интенсивного выклинивания подземных вод. Важнейшая проблема этой зоны – подтопление подземными водами. С помощью созданной автором многослойной нестационарной модели фильтрации рассмотрены различные сценарии понижения уровней грунтовых вод. Упомянутая модель создавалась с использованием комплекса программ Modflow.

Опытно-фильтрационные и водно-балансовые исследования на рассматриваемой территории проводились в течение последних 70 лет, многими авторами: Гидрогеология СССР, Киргизской ССР (1971), П. Г. Григоренко (1979), М. И. Каплинский (1977, 1982), Иманкулов (1984), О. С. Кривченко (1986), Р. Г. Литвак (1982, 1991), Ф. Левченко (1967), Т.Д. Льянов (1995), К. В. Цыценко (1990), В. М. Шестаков (1983, 1985). Их проводили местные гидрогеологические и водохозяйственные организации с участием ученых Москвы и Санкт-Петербурга. В ряде опытно-фильтрационных исследований принимал участие автор диссертационной работы. В частности, им осуществлялась обработка кустовых опытных откачек на нескольких опытных участках с целью определения фильтрационных параметров многослойных водоносных горизонтов, Р. Г. Литвак (1991).

В результате разведочного моделирования и технического анализа выбраны 4 сценария понижения уровней грунтовых (УГВ) вод в северной части г. Бишкек.

Сценарий 1. Понижение УГВ производится горизонтальным дренажом стандартной глубиной 3,5 м. Рассмотрены 3 случая, в которых исходный дренажный модуль равен 0,3 л/с с га, 0,5 л/с с га и 0,7 л/с с га.

В результате моделирования упомянутых 3-х случаев получены многочисленные прогнозные характеристики, которые могут быть использованы для различных целей. На рис. 3. приведены понижения УГВ с момента начала эксплуатации планируемой дренажной системы. Графики показывают, что понижения уровней стабилизируются в конце 1-го года эксплуатации. Понижения УГВ изменяются от 1,3 м (дренажный модуль 0,3) до 1,8 м (дренажный модуль 0,7). При рассмотренных мощностях дренажных систем УГВ в короткий срок опустятся ниже 2 м, что существенно улучшит ситуацию в северной части г. Бишкек. Необходимо отметить, что после 2-х лет эксплуатации, требуемый дренажный модуль уменьшится в 2-3 раза. Положительный фактор этого сценария – быстрое достижение поставленной цели и относительно небольшие эксплуатационные затраты. Основной отрицательный фактор – большие капитальные затраты и сложность проведения земляных работ на застроенной территории.

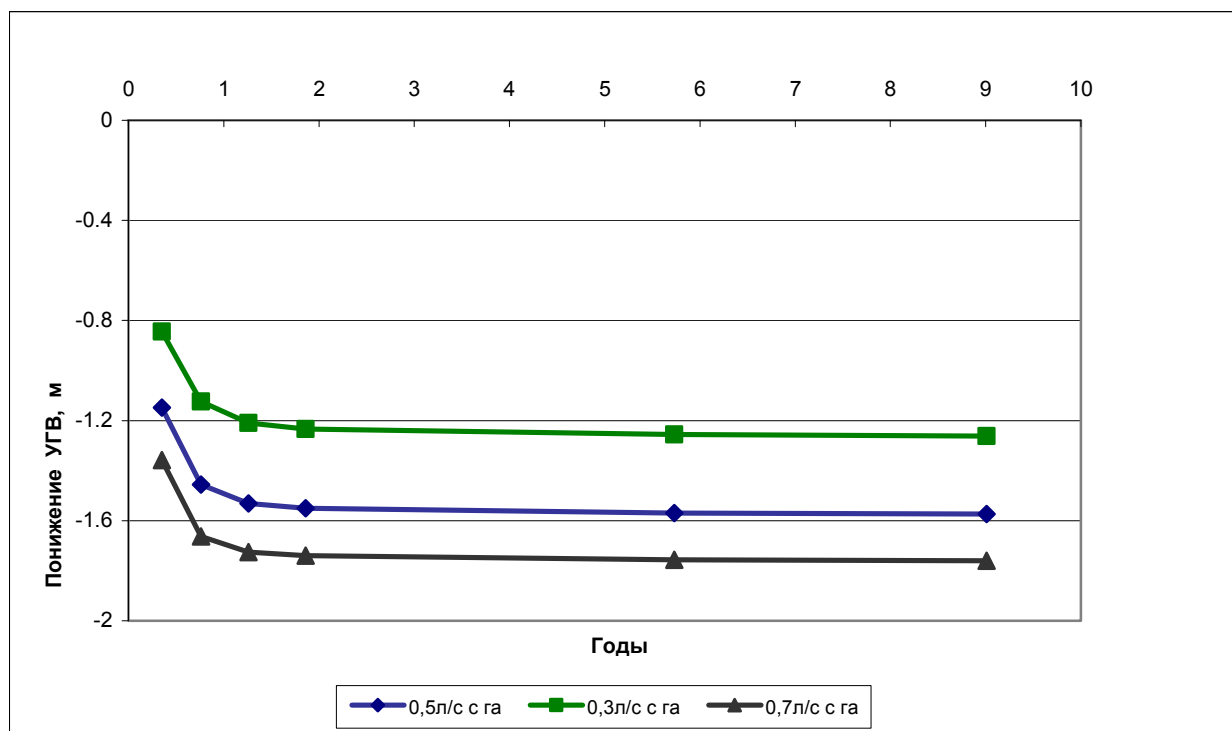


Рис. 3. Среднее понижение уровней грунтовых вод горизонтальным дренажом при различных исходных дренажных модулях (сценарий 1, варианты 1-3)

Сценарий 2. Снижение УГВ достигается уменьшением потерь оросительной воды в зоне формирования, которая расположена выше исследуемой территории. Рассмотрены 2 варианта: ирригационные потери сокращаются на 200 и 400 мм/год. В настоящее время суммарные потери составляют примерно 600-900 мм/год.

Этот сценарий включает в себя возможные последствия изменения климата (поскольку самое опасное его последствие для Кыргызстана – сокращение стока рек, что вынужденно приведет к увеличению КПД оросительных систем и использованию подземных вод на орошение).

Сокращение питание подземных вод и увеличение их использование уменьшит приток подземных вод из зоны формирования в зону выклинивания, где расположена подверженная подтоплению северная часть г. Бишкек. Среднее понижение уровня грунтовых вод на рассматриваемой территории в зависимости от времени приведено на рис. 4.

Обращает на себя внимание замедленная и слабая реакция уровней грунтовых вод на рассматриваемое воздействие. Через 9 лет УГВ в северной части Бишкека опустятся в первом случае на 0,26 м, во втором – на 0,52 м. Этот сценарий снижения УГВ может рассматриваться как дополнительный к более эффективным воздействиям.

Сценарий 3. Снижение УГВ достигается скважинами, каптирующими второй слой (1-й водоносный горизонт). Глубина скважин – примерно 80 м. Скважины обеспечивают постоянный дренажный модуль 0,3 л/с с га.

Результаты прогноза на 25-летний период приведены на рис. 5.

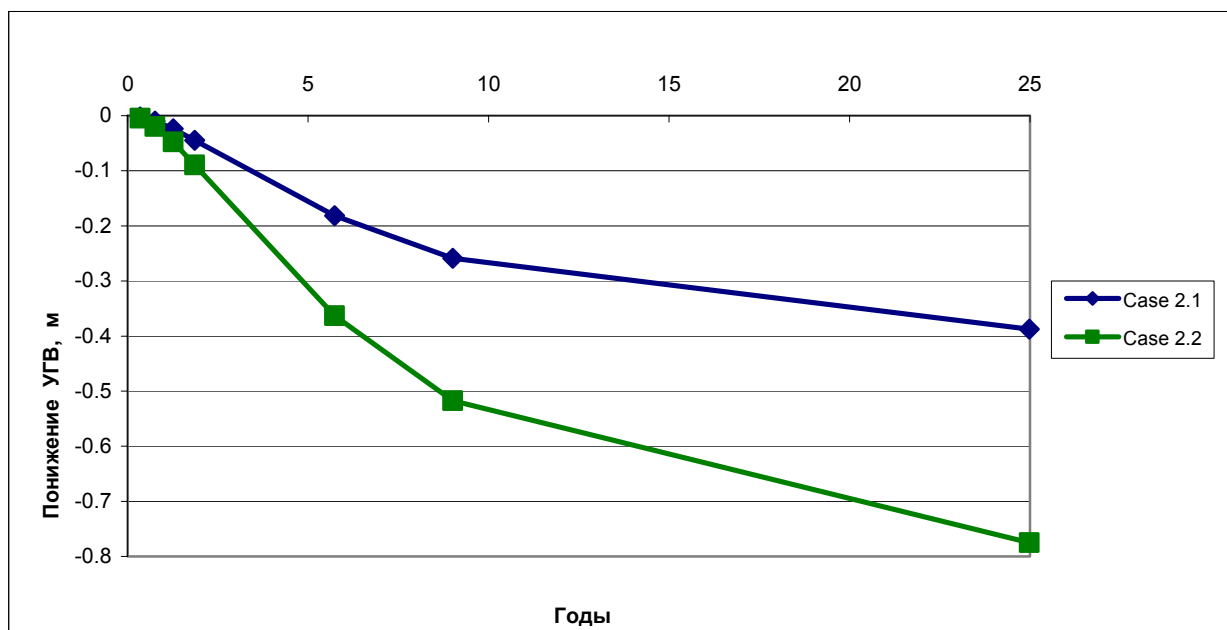


Рисунок 4. Среднее понижение уровней грунтовых вод при уменьшении питания подземных вод в зоне формирования (сценарий 2, варианты 1,2)

Через 1 год после начала работы скважин уровни грунтовых вод (УГВ) опустятся ниже критического уровня. К концу прогнозного периода понижения достигнут 6 м. Необходимо отметить, что столь значительные понижения УГВ при исходном дренажном модуле 0,3 л/с с га (меньше, чем в случае горизонтального дренажа) достигается за счет его постоянства. В первом сценарии при снижении УГВ дренажный модуль со временем уменьшается в 2-3 раза.

Положительные факторы этого сценария – эффективное снижение УГВ и возможность использования пресной откачиваемой воды на технические нужды и орошение. Недостатки – высокие эксплуатационные затраты (электроэнергия и т. п.), а также необходимость организации системы технического обслуживания.

Сценарий 4. Осушение достигается уменьшением питания подземных вод в зоне формирования, а также дренажными мероприятиями в зоне требуемого понижения уровней грунтовых вод. Уменьшение питания подземных вод в зоне формирования то же, что и в Сценарии 2.

В этом случае проектируемые дренажные системы в северной части г Бишкек могут обеспечивать дренажный модуль на 15- 20 % ниже, чем в условиях неизменных фильтрационных потерь в зоне формирования подземных вод.

Результаты проведенного объемного моделирования (с использованием комплекса программ Modflow) могут быть представлены многочисленными сечениями на каждом временном шаге. В качестве примера, на рис. 6 приведены результаты моделирования на конец 10 - летнего периода эксплуатации дренажных систем. На приведенной схематической карте показаны понижения уровней грунтовых вод (верхний слой модели).

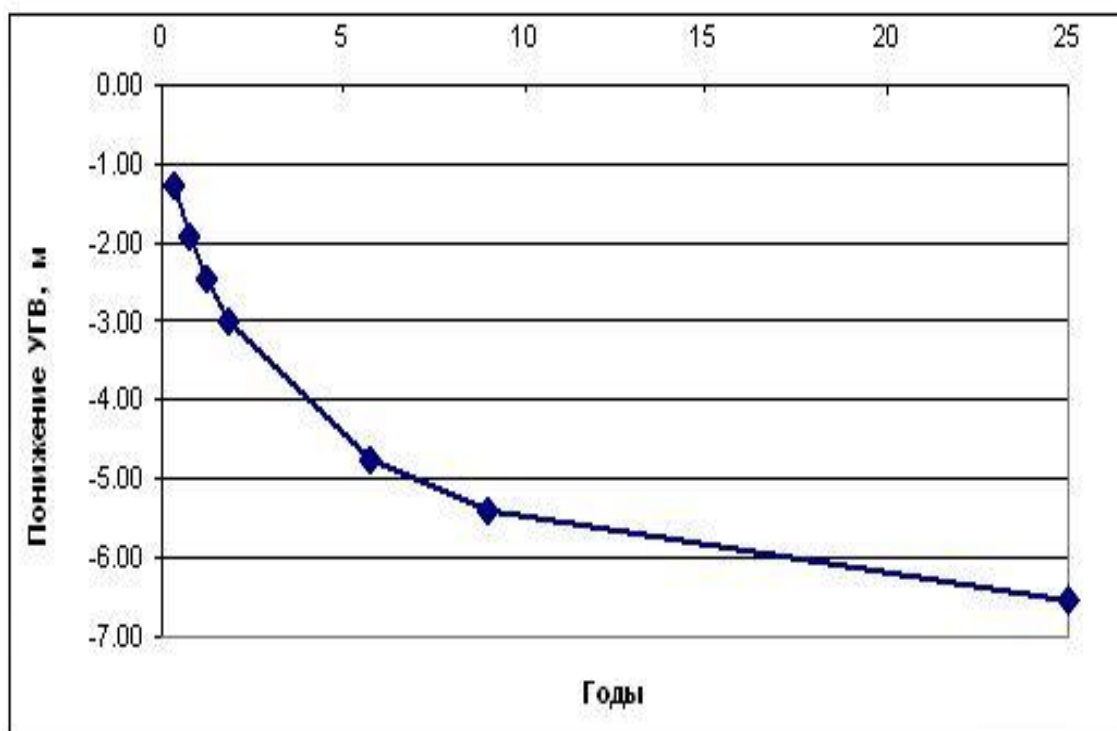


Рис. 5. Среднее понижение уровней грунтовых вод вертикальным дренажом при постоянном дренажном модуле 0.3 л/с с га (сценарий 3)

Сопоставление вышеприведенных сценариев показывает, что на ближайшую перспективу следует предусматривать использование горизонтального дренажа с применением скважин в отдельных местах (сценарии 1 и 3). В дальней перспективе наиболее благоприятным является сценарий 2, позволяющий кроме осушительного эффекта уменьшить водозабор на орошение.

В процессе моделирования сценариев понижения уровней грунтовых вод выявлен эффект изменения дренажного модуля в период планируемой эксплуатации дренажной системы. В начальный момент дренажный модуль в 2-3 раза больше, чем после стабилизации уровней подземных вод. Этот эффект необходимо учитывать при проектировании дренажных систем.

Четвертая глава содержит результаты научных исследований, выполненных автором в рамках Проекта «Количественный анализ причин интенсивного подъема уровней грунтовых вод на территории А/О «Савай» Карасуйского района Ошской области», Р. Г. Литвак (2009). Работа выполнялась по Постановлению Правительства Кыргызской республики.

Основная цель исследований, данного раздела – выявление причин резкого поднятия уровней грунтовых вод (УГВ) на территории А/О Савай Карасуйского района Ошской области и обоснование эффективных мер, защищающих населенные пункты и орошаемые территории от подтопления подземными водами, рис 7. Необходима количественная оценка факторов, вызвавших поднятие УГВ

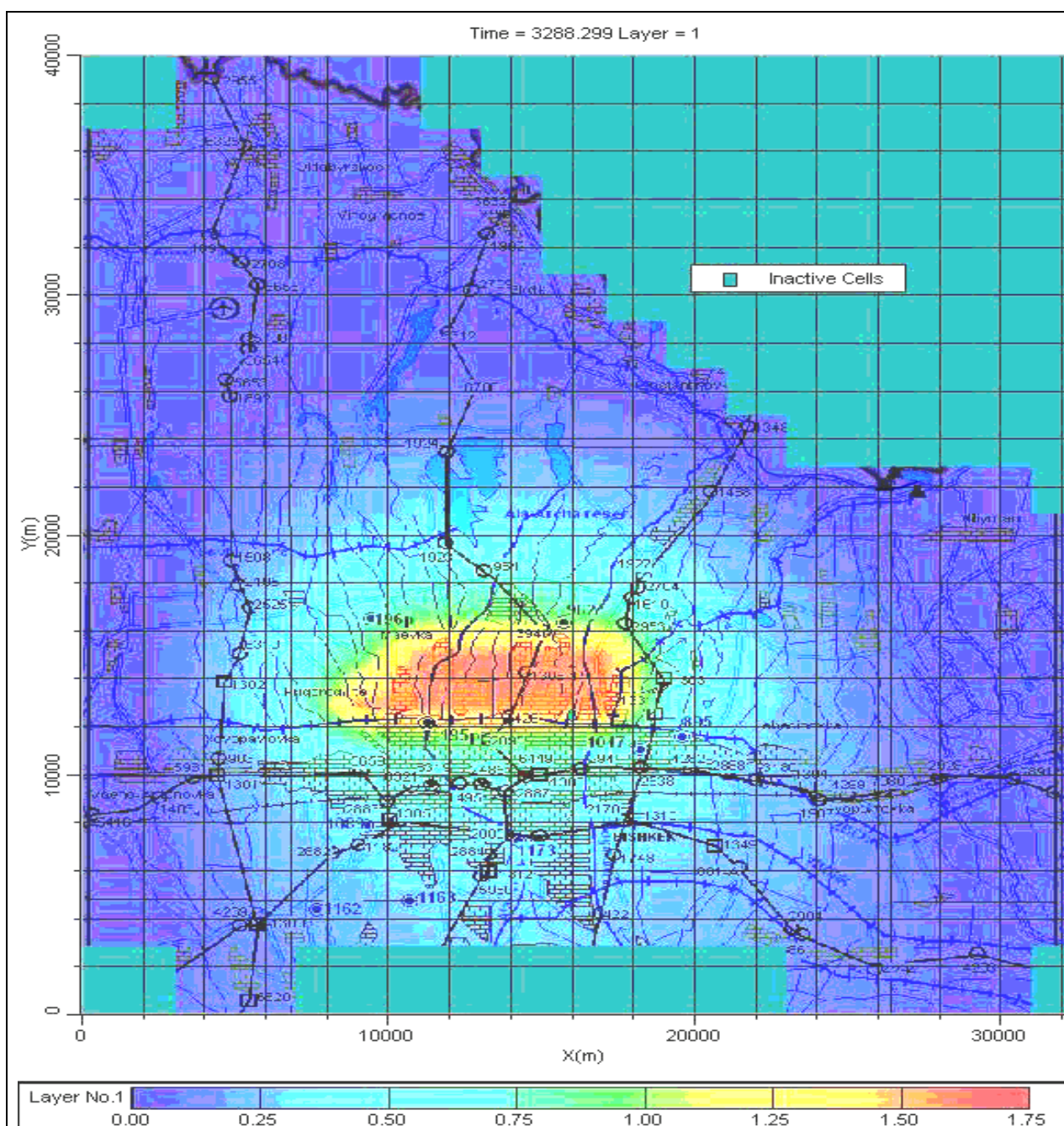


Рис. 6. Схематическая карта прогнозных понижений уровней грунтовых вод горизонтальным дренажом на 10 год эксплуатации при исходном дренажном модуле 0.3 л/с с га (сценарий 1, вариант 1)

**СХЕМАТИЧЕСКАЯ КАРТА ОРОШАЕМЫХ ПЛОЩАДЕЙ ЗОНЫ, ВЛИЯЮЩЕЙ НА
ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ АО "САВАЙ"**

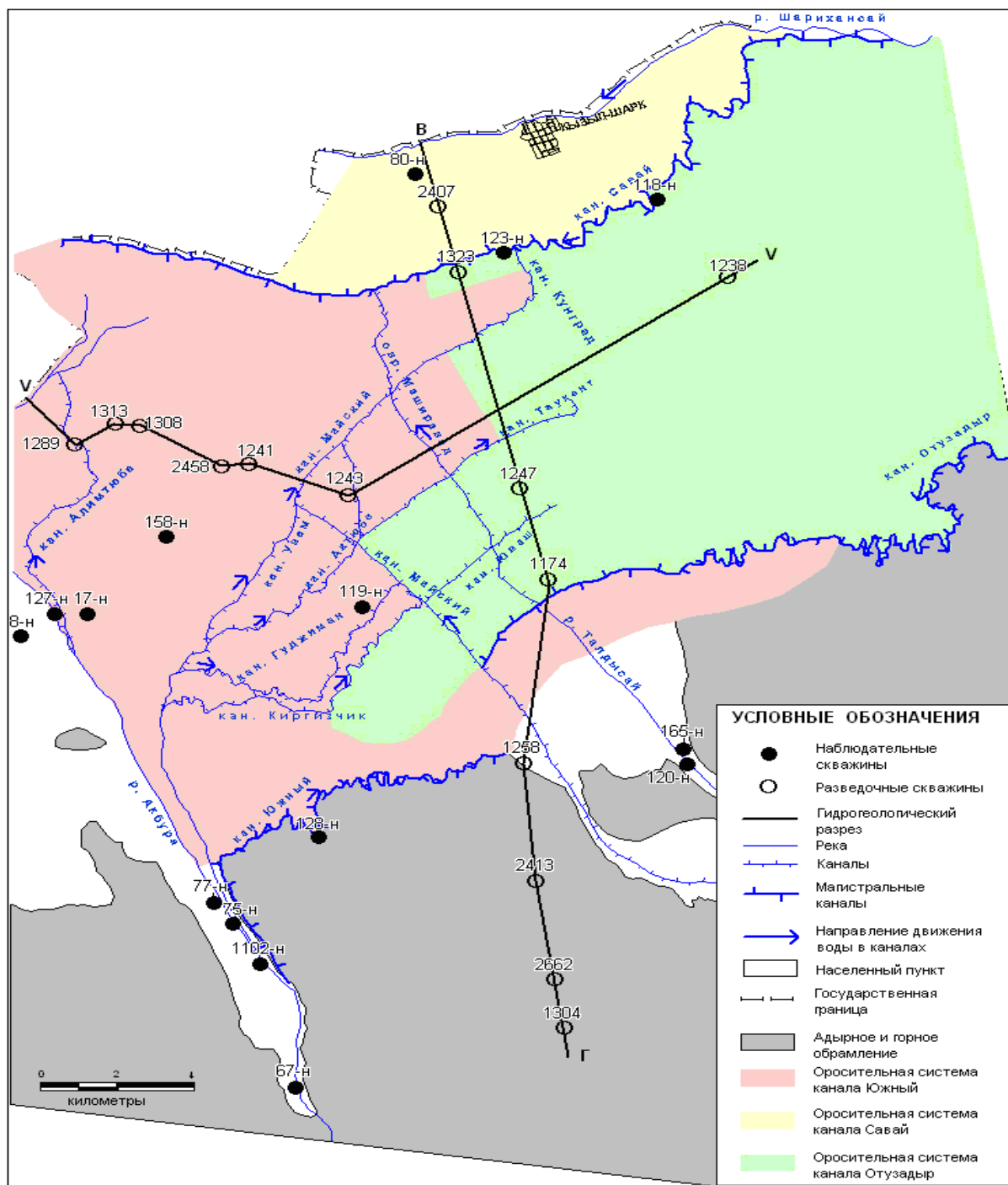


Рис. 7. Схематическая карта зоны, влияющей на грунтовые воды А/О «Савай», составлена по материалам работы А. И. Заболотного (1980)

в последние 30 – 40 лет на десятки метров. Последняя задача решена с использованием 2-х подходов:

1) Анализ режима уровней подземных вод зоны, влияющей на подземные воды А/О «Савай», за последние десятилетия. При этом сопоставляются режимы на территориях с различными типами формирования подземных потоков. Для анализа использованы работы А. И. Заболотного (1980), В.А. Кардаманова (2000), Кыргызгипроводхоза (1991), Ошской ГПП (2009), Г. М Толстихина

(2008).

2) Моделирование процесса ввода новых орошаемых земель, влияющих на подземные воды А/О Савай (система канала Отуз-Адыр, ввод в эксплуатацию – 1954 г., системы каналов Южный и Савай, ввод в эксплуатацию в 1974 и 1970 гг. соответственно). При этом модельные повышения уровней подземных вод сопоставляются с фактическими, что позволяет количественно оценить влияние ирригационных потерь на подъем УГВ.

Данные наблюдательных скважин, расположенных в зоне влияния оросительных систем, показывают устойчивые повышения УГВ на орошаемых территориях. Величина повышения уровней с 1975 по 2008 гг. на территории А/О «Савай» – примерно 25-30 м. Если учесть, что ввод в эксплуатацию оросительных систем каналов «Савай» и «Южный» был осуществлен в 1970 – 1974 гг., то причины резкого поднятия УГВ явно связаны с потерями ирригационной воды на территориях упомянутых оросительных систем.

Для полной уверенности в том, что основная причина поднятия уровней грунтовых вод – потери оросительной воды в трех рассматриваемых здесь оросительных системах необходимо промоделировать влияние ввода «новых» орошаемых земель на поднятие УГВ. При этом фактические поднятия УГВ должны примерно соответствовать расчетным. В процессе моделирования использованы практически все имеющиеся гидрогеологические и водохозяйственные данные. Использовались фондовые материалы Проектного Института «Кыргызгипроводхоз» и Кыргызской комплексной гидрогеологической экспедиции (ККГГЭ). Кроме того, в рамках выполняемого технического проекта производились специальные полевые исследования по плану, разработанному главным инженером Проекта совместно с автором диссертационной работы

Проведено моделирование влияния ввода трёх оросительных систем (ОС) на подъем УГВ. Первой из упомянутых ОС введена в эксплуатацию система канала Отуз-Адыр (1954 г), орошаемая площадь 12,35 тыс. га. ОС канала «Савай» введена в 1970 г., орошаемая площадь – примерно 3 тыс. га. ОС канала «Южный» введена в 1974 г, орошаемая площадь – 5 тыс. га. Моделирование проводилось в 2 этапа, вначале задавались ирригационные потери системы «Отуз-Адыр», т.е. воспроизводился период 1954 – 1974 гг. На втором этапе воспроизводился период с 1974 по 2030 гг., здесь задается влияние всех трех оросительных систем. Начальные УГВ и напоры 2-го этапа являются конечными для первого этапа моделирования. Поскольку основное питание подземных вод происходит на территориях с их глубоким залеганием, то оно задается в размере 33 % от водозабора брутто (кпд оросительных систем, с учетом потерь на полях в настоящее время составляет примерно 0.35).

Под действием системы канала «Отуз-Адыр» после 20 лет эксплуатации произошло повышение УГВ на 4 м. На следующем этапе 1975 – 2008 г (под действием всех 3-х оросительных систем) произошло повышение УГВ еще на 30 м. В этот период фактические повышения УГВ по 3-м наблюдательным скважинам ККГГЭ (80н, 118н и 123н) составили примерно 25 – 30 м, что соответствует расчетным значениям, рис. 8. Проведенное моделирование вскрывает причину устойчивого повышения УГВ на территории А/О «Савай» -

это фильтрационные потери ирригационных систем каналов «Савай», «Отуз-Адыр» и «Южный».

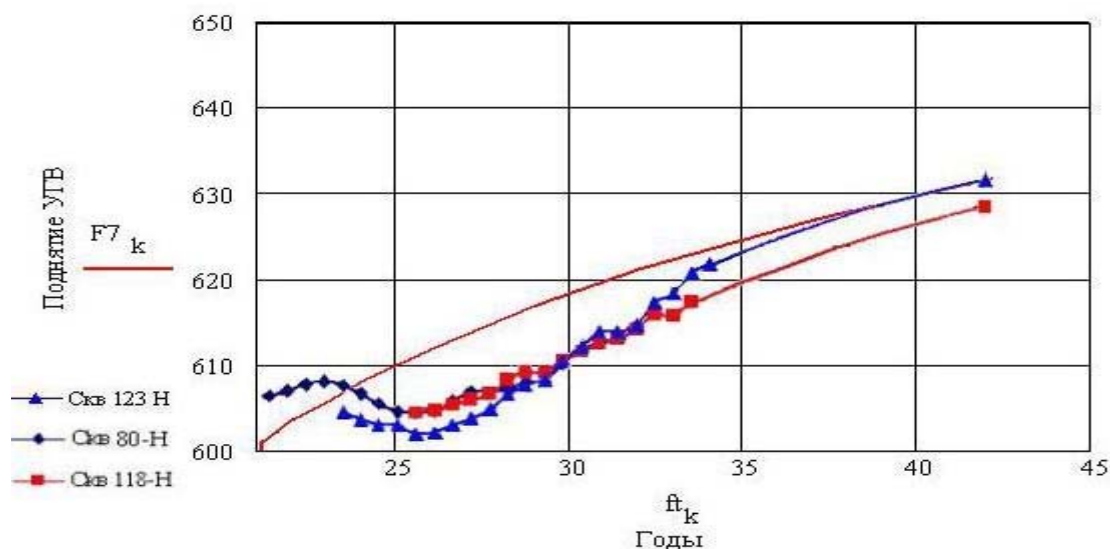


Рис. 8. Модельные и фактические поднятия УГВ на территории А/О «Савай» под действием ирригационных потерь систем 3-х каналов

По его результатам приток подземных вод с вышерасположенной территории, на которой расположены оросительные системы «Отуз-Адыр» и «Южный», увеличивается приблизительно на $0.1 \text{ м}^3/\text{с}$ через каждые 10 лет.

После 10-15 лет эксплуатации запроектированной на стадии ТЭР (технико-экономические расчеты) дренажной системы потребуется увеличение ее мощности за счет строительства комбинированного дренажа с выводом расходов самоизливающихся скважин в коллекторно-дренажную сеть.

Параметры комбинированного дренажа должны определяться дополнительными исследованиями, включающими применение математических моделей фильтрации подземных вод.

Предельная величина притока подземных вод с вышележащих территорий $0.92 \text{ м}^3/\text{с}$, что составляет 33 % от водозабора на орошение (брутто). Доля водозабора, которая идет на питание подземных вод, принята по оценкам, приведенным в работе Р. Г. Литвака (2009).

Проведенные исследования показали неожиданно длительный период стабилизации потока подземных вод после мощного воздействия ввода 3-х рассматриваемых оросительных систем. Ожидаемый срок стабилизации – 2050 г. К этому времени, если не произойдет существенного уменьшения фильтрационных потерь, приток подземных вод достигнет максимального значения. Столь длительный период стабилизации объясняется низкой водопроницаемостью четвертичных отложений исследуемой территории, она равна $250 - 500 \text{ м}^2/\text{сут}$. Если водопроницаемость увеличить в 6 раз, чтобы ее величина примерно соответствовала этому параметру для Чуйской долины, то период стабилизации будет

примерно равен 30-40 годам, что соответствует времени стабилизации аналогичных процессов в Чуйской долине.

В рассматриваемом разделе приведены результаты решения следующих задач: а) обработка кустовых мини откачек, проведённых на исследуемой территории. Получение фильтрационных параметров, для обоснования схем дренирования; б) Построение моделей фильтрации, позволяющих оценить влияние дренажных систем на уровни грунтовых вод рассматриваемых территорий; в) интерпретация измерений выклинивания грунтовых вод в существующие дренажи с целью уточнения фильтрационных моделей для последующих прогнозных расчетов; г) прогнозирование понижения уровней грунтовых вод под действием различных схем проектируемого дренажа.

Решение приведенных задач базируется на широком использовании математических методов и применении современных пакетов компьютерных программ.

Произведено прогнозирование понижений уровней грунтовых вод под действием различных схем проектируемого дренажа. Выбрана наиболее рациональная схема расположения коллекторно-дренажной сети, привязанная к конкретным условиям дренируемой территории. Рассмотрены случаи расположения между дренами посевов риса, а также случай понижения от действия двух дренажей разной глубины.

В пятой главе предложен новый метод учета гидрогеологических факторов для оценки уязвимости многослойных водоносных горизонтов, характерных для межгорных долин Центральной Азии.

Под уязвимостью здесь понимается степень подверженности подземных вод различным видам загрязнения, источники которого находятся на поверхности земли. Приводятся два подхода к оценке упомянутой уязвимости. Первый «рейтинговый» подход базируется на стандартной методике «index – and – overlay», R. C. Gogu (2000, 2003), Morris B. L (2002), основанной на четырех критериях. Во втором предлагается метод, существенно повышающий объективность оценки уязвимости водоносных горизонтов слоистого строения. Исследование проведено на примере Чуйской долины и г. Бишкек, представляющие собой важнейший регион Кыргызской Республики с населением более 1.5 миллиона человек. Общая площадь территории – примерно 7.4 тыс. км², Г. В. Соболин (1990).

В качестве примера использования стандартного подхода проведена оценка уязвимости водоносного горизонта г. Бишкек и построена соответствующая схематическая карта. Таблица 1 иллюстрирует применение вышеупомянутого стандартного подхода.

По сумме 4-х критериев производится классификация степени уязвимости территории г. Бишкек (1-6 низкая, 7-8 средняя, 9-11 высокая, 12 экстремально высокая). Составлена схематическая карта уязвимости подземных вод г. Бишкек.

Предлагаемый метод имеет существенный недостаток – субъективность оценок. Главным образом, это касается оценок влияния геолого-гидрогеологических условий. Ниже предлагается более объективный ком-

плексный критерий влияния геолого-гидрогеологических условий на уязвимость водоносных горизонтов слоистого строения.

Таблица 1. Оценка уязвимости водоносных горизонтов применительно к условиям г. Бишкек, стандартный подход

Критерий уязвимости	Классификация зон	Характеристика уязвимости	Количественный показатель уязвимости
1. Мощность покровных отложений	Мощность 0 – 5 м	Высокая	3
	Мощность 5 – 10 м	Низкая	1
2. Геолого-гидрогеологические условия	Карабалтинский створ	Высокая	3
	Панфиловский створ	Средняя	2
	Ала-Арчинский створ	Низкая	1
3. Глубина уровней грунтовых вод	0 – 5 м	Очень высокая	4
	5 – 10 м	Высокая	3
	10 – 50 м	Средняя	2
	> 50 м	Низкая	1
4. Условия поверхностного питания грунтовых вод	Зона инфильтрации из рек	Средняя	2
	Зона формирования подземных вод (вне зоны инфильтрации из рек)	Низкая	1
	Зона выклинивания подземных вод	Пренебрежимо малая	0

Источники загрязнения подземных вод, как правило, находятся на поверхности земли. Интенсивность загрязнения, исходящего от конкретного источника, во многом зависит от фильтрационных сопротивлений верхней и нижней прослоек, фильтрационного сопротивления рассматриваемого блока водоносного слоя в горизонтальном направлении, а также от соотношений упомянутых фильтрационных сопротивлений. В предельном случае бесконечно большого сопротивления верхней прослойки (непроницаемый верхний слой) источник загрязнения отделен от изучаемого участка водоносного горизонта, что указывает на его высокую защищенность. Высокое фильтрационное сопротивление в нижнем и боковых направлениях, наоборот, снижают защищенность рассматриваемой зоны, снижая возможность оттока просочившихся загрязняющих веществ. Целесообразно предложить один параметр, количественно характеризующий вышеописанную ситуацию. Если представить себе скважину, эксплуатирующую рассматриваемую зону изучаемого водоносного слоя, то отношение притока сверху к общему притоку воды в скважину будет характери-

зовать взаимоотношение упомянутых фильтрационных сопротивлений. При одной и той же величине водозабора подземных вод нисходящие потоки будут различны, в зависимости от геолого-гидрогеологических условий. Например, при очень низких коэффициентах фильтрации покровных отложений и высокой водопроницаемости эксплуатируемого водоносного горизонта нисходящие потоки при действии водозаборов будут отсутствовать, что указывает на высокую защищенность (низкую естественную уязвимость) водоносного горизонта. Суть предлагаемого метода оценки уязвимости подземных вод заключается в следующем:

А) Моделируется эксплуатация водозаборной скважины в верхнем водоносном горизонте, уязвимость которого оценивается, рис. 9.

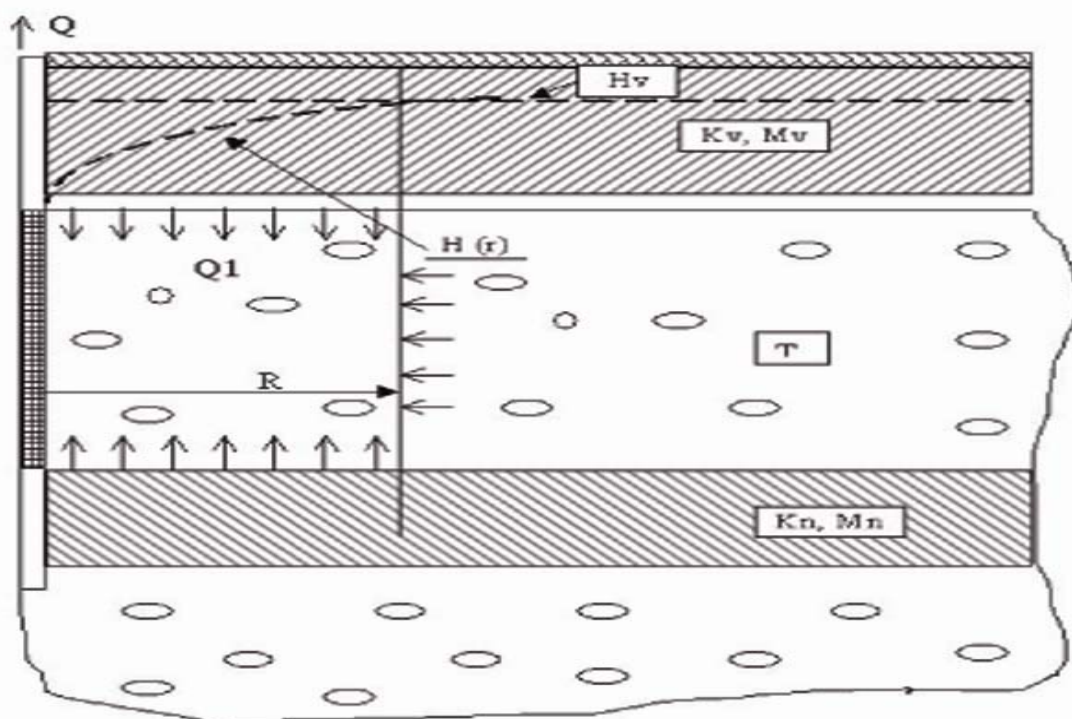


Рис. 9. Типовая фильтрационная схема работы моделируемой скважины в верхнем водоносном горизонте

Б) Составляется водный баланс моделируемой откачки на установившееся состояние. Выводится отношение величины притока (вызванного моделируемой откачкой) из покровных отложений в изучаемый водоносный горизонт к общему объему откачиваемой воды. Упомянутое отношение, которое зависит от геолого-гидрогеологических условий изучаемой территории, названо Ψ индексом.

В) Классифицируется уязвимость, связанная с геологическим строением. Меньше Ψ индекс – менее уязвим водоносный горизонт.

Предложенный Ψ индекс (обобщенный гидрогеологический показатель) предлагается рассчитывать по нижеследующим зависимостям:

$$\Psi = \frac{Q_1}{Q}, \quad (5.1)$$

где

Q – объем откачиваемой воды из моделируемой скважины, м³/сут;

Q_1 – приток подземных вод из покровного слоя в верхний водоносный горизонт под действием откачки, м³/сут, см. рис. 9;

Пользуясь законами динамики подземных вод, получаем формулу для расчета Q_1 :

$$Q_1 = \int_0^R 2 \cdot \pi \cdot r \cdot k_v \cdot \frac{(H_v - H(r))}{m_v} dr, \quad (5.2)$$

где

R – радиус рассматриваемой зоны (обычно 100 – 200 м, вне этой зоны нисходящий ток, вызванный откачкой, пренебрежимо мал), м;

k_v – вертикальный коэффициент фильтрации покровных отложений, м/сут;

H_v – отметка уровней грунтовых вод (напор в покровных отложениях), м;

$H(r)$ – напор в рассматриваемом водоносном горизонте, зависящий от r (расстояние до центра скважины), м;

m_v – мощность покровных отложений, м;

T – водопроводимость рассматриваемого водоносного горизонта, м²/сут.

Для рассматриваемого случая одиночной скважины $H(r)$ является решением следующей задачи:

$$T \cdot \frac{1}{r} \cdot \left[\frac{d}{dr} \left[r \cdot \left(\frac{d}{dr} H(r) \right) \right] \right] + k_v \cdot \left(\frac{H_v - H(r)}{m_v} \right) + k_n \cdot \left(\frac{H_n - H(r)}{m_n} \right) = 0, \quad (5.3)$$

$$\lim_{r \rightarrow \infty} H(r) = \text{const}, \quad \lim_{r \rightarrow 0} \left[2 \cdot \pi \cdot r \cdot T \cdot \left(\frac{d}{dr} H(r) \right) \right] = Q \quad (5.4)$$

Решение последнего уравнения известно, Ф. М. Бочевера (1976), М. S. Hantush (1962):

$$H(r) = \frac{-Q}{2 \cdot \pi \cdot T} \cdot K_0(\sqrt{P_1} \cdot r) + \frac{P_2}{P_1}, \quad (5.5)$$

где

$$P1 = \frac{1}{T} \cdot \left(\frac{k_v}{m_v} + \frac{k_n}{m_n} \right) \quad P2 = \frac{1}{T} \cdot \left(\frac{k_v}{m_v} \cdot H_v + \frac{k_n}{m_n} \cdot H_n \right) \quad (5.6)$$

$K0(x)$ – модифицированная функция Бесселя второго рода нулевого порядка.

Подставляя полученные выражения (5.5), (5.6) в (5.1) и (5.2) и опуская промежуточные выкладки, получим:

$$\Psi(R) = \frac{k_v}{T \cdot m_v \cdot P1} \cdot (1 - R \cdot \sqrt{P1} \cdot K1(\sqrt{P1} \cdot R)) \quad (5.7)$$

где $K1(x)$ – модифицированная функция Бесселя второго рода первого порядка.

При получении последнего выражения использовано нижеследующее свойство цилиндрической функции $K1(x)$:

$$\lim_{x \rightarrow 0} (x \cdot K1(x)) = 1 \quad (5.8)$$

Кроме того, использовано предположение $H_v = H_n$, которое вполне допустимо для решения поставленных в данной работе задач.

Предлагаемый Ψ индекс может быть использован вместо 2-х приведенных выше критериев (мощность покровных отложений и экспертная оценки геолого-гидрогеологических условий). Его преимущество – более объективная оценка гидрогеологических условий на основе количественной реакции на действие водозаборных скважин. Два оставшихся критерия (глубина уровня грунтовых вод и расположение поверхностных водных источников) предлагается использовать совместно с Ψ индексом тем же способом, что и в предыдущем случае. В зависимости от величины Ψ предлагается шкала уязвимости, табл. 2.

Предлагаемый метод использован для построения схематической карты уязвимости подземных вод Чуйской долины, рис. 10.

Шестая глава содержит исследования, выполненные автором в рамках Проекта «Научное обоснование и разработка схемы мониторинга подземных вод Чуйской долины на основе фильтрационного моделирования», Р. Г. Литвак, (2015).

Во многих работах подчеркивается, что современный подход к обоснованию схем мониторинга базируется на применении математических моделей, В. М. Шестаков (2007), Bashi-Azghadi SN (2009), J. K. Thakur (2017). В данном разделе предлагается методический прием обоснования схемы режимных наблюдений за уровнями подземных вод с использованием одномерных нестационарных фильтрационных моделей на примере провальной зоны р. Чу.

Таблица 2. Шкала уязвимости в зависимости от Ψ индекса

Значения Ψ	Количественный показатель уязвимости	Характеристика уязвимости
0.0-0.1 0.1-0.2	0 1	Очень низкая
0.2-0.3 0.3-0.4	2 3	
0.4-0.5 0.5-0.6	4 5	Средняя
0.6-0.7 0.7-0.8	6 7	
0.8-0.9 0.9-1.0	8 9	Очень высокая

В работе В. М. Шестакова (2007) подчеркивается важность «формулировок конкретной цели любого мониторинга и бесполезность многоцелевых «общих» наблюдений». Главный режимобразующий фактор подземных вод равнинной зоны восточной части Чуйской долины – русловые потери из реки Чу в «провальной» зоне между Бурулдайским мостом и г. Токмак, рис. 11. Исходя из этого, изменение питания подземных вод должно фиксироваться режимными скважинами. Основные цели данного подраздела: разработка и обоснование схемы расположения режимных скважин, которая будет распознавать и оценивать изменения уровней подземных вод, вызванные изменением фильтрационных потерь из р. Чу.

Исследования проведены с использованием 2-х фильтрационных моделей. Модель 1 (модель подруслового потока подземный вод вдоль р Чу), рис. 11, 12. и модель 2 (модель потока подземный вод перпендикулярно р. Чу).

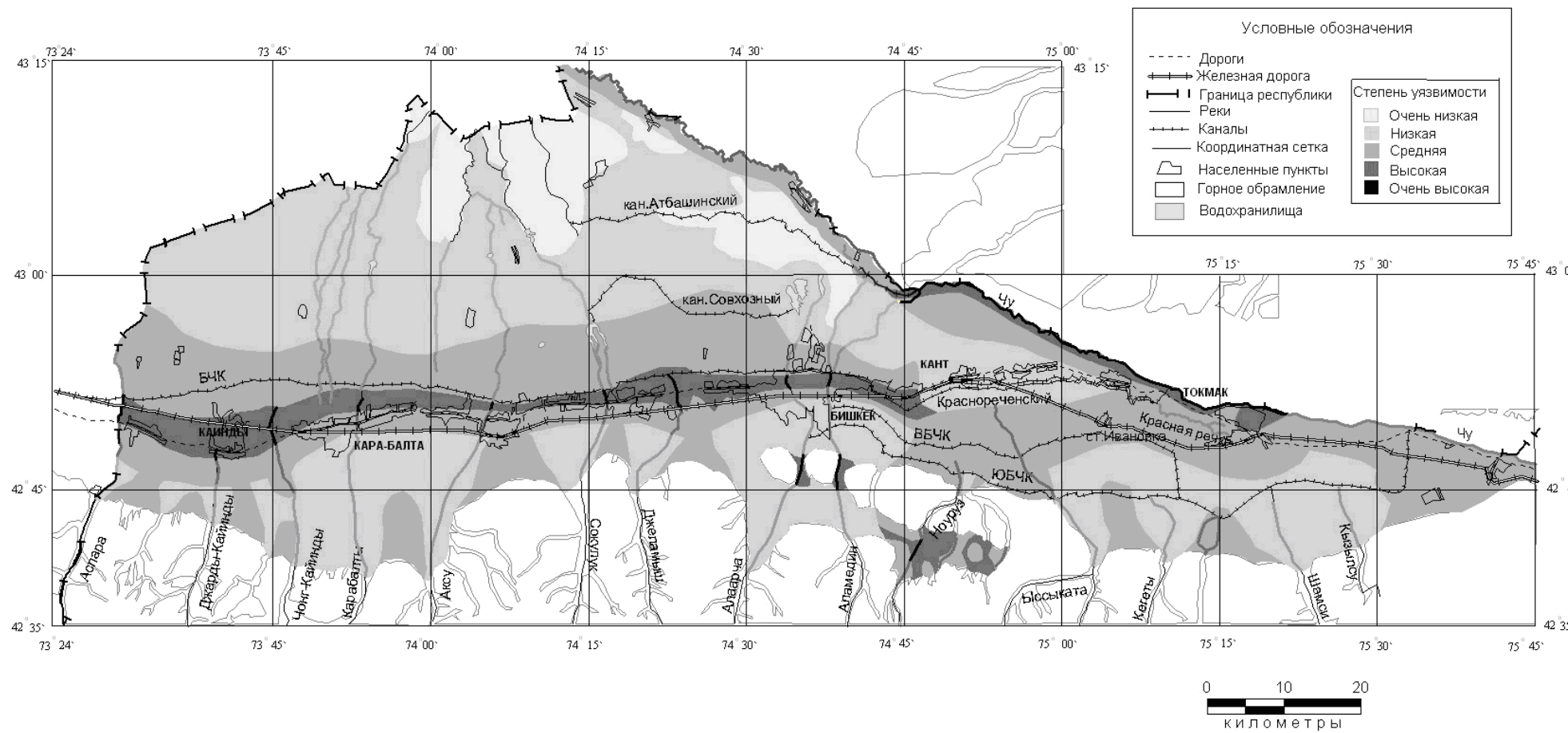


Рис. 10. Схематическая карта уязвимости грунтовых вод Чуйской долин

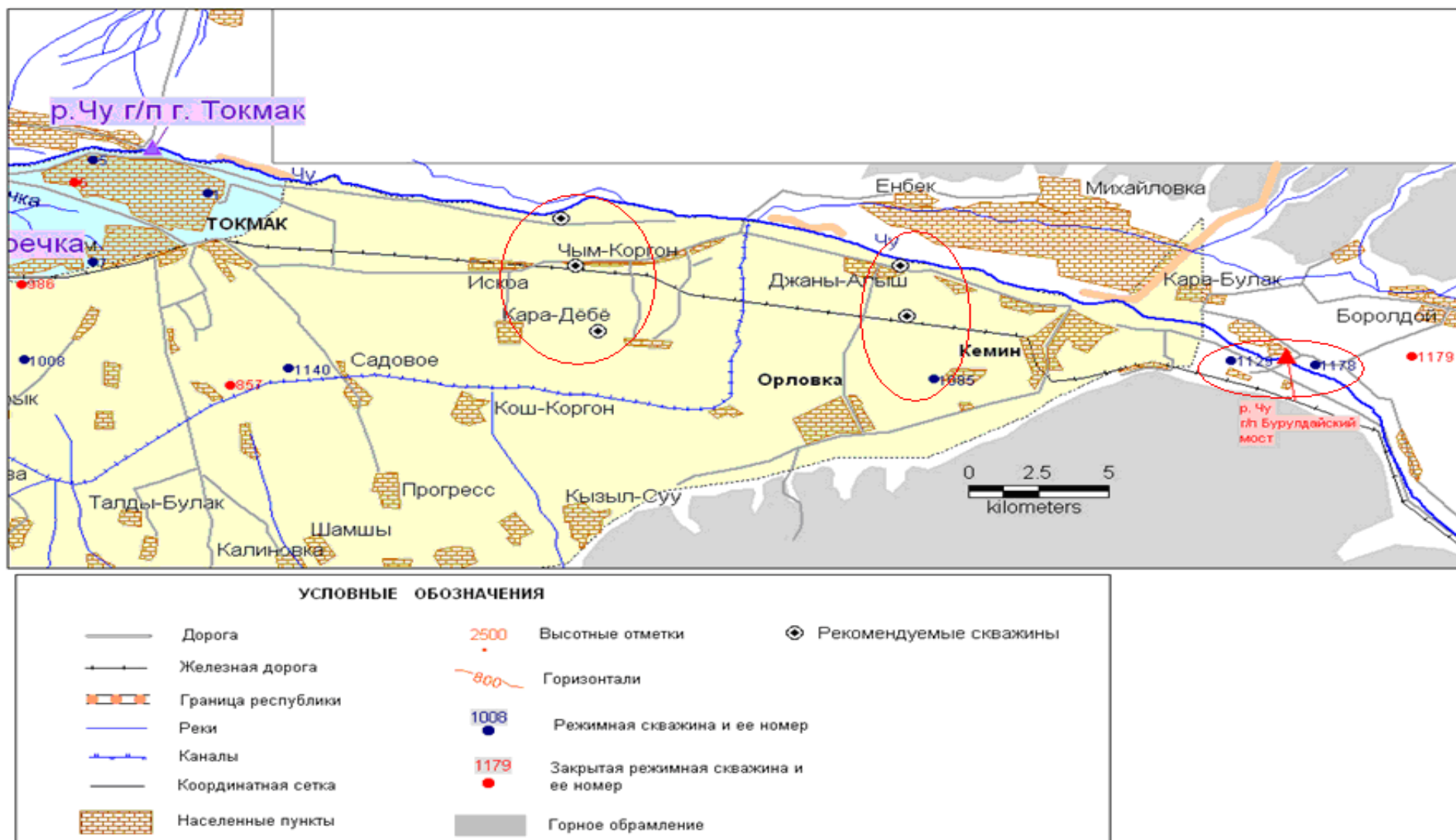


Рис. 11. Схематическая карта «провальной зоны» р. Чу

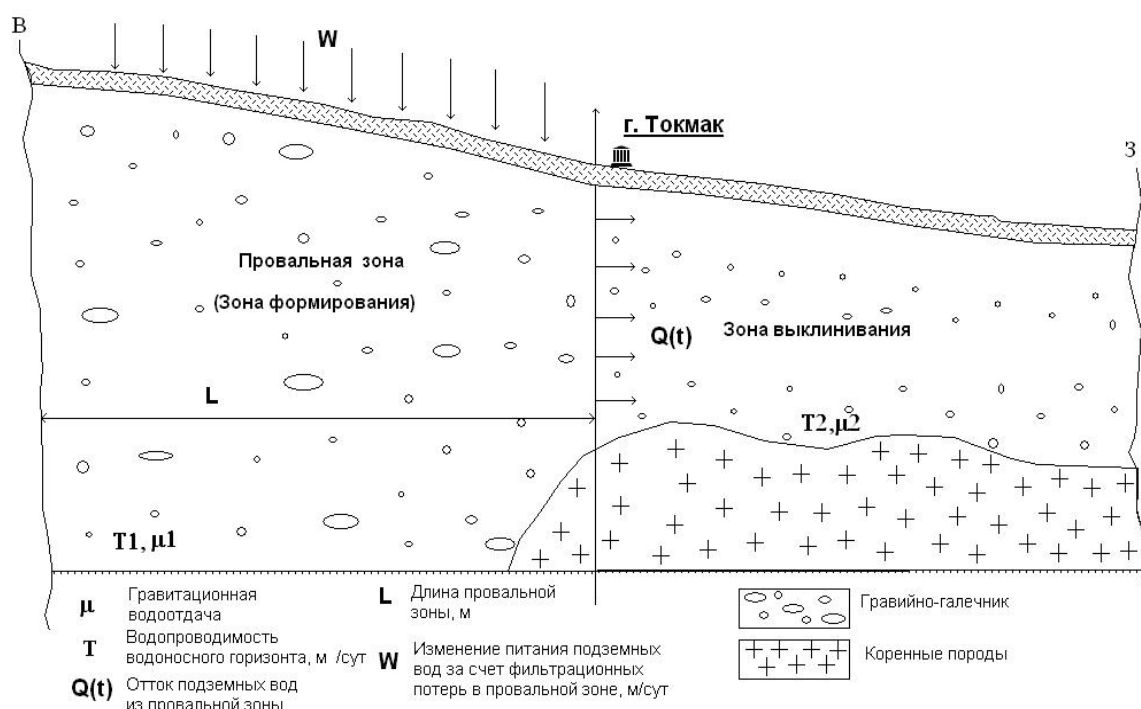


Рис.12. Фильтрационная схема к 1-ой фильтрационной модели

Для 1-ой модели зависимости для изменения оттока подземных вод из провальной зоны в зону выклинивания $Q(t)$ получены модернизацией решений, выведенных в работе А. Н. Костякова (1956). Промежуточные преобразования для краткости не приводятся.

$$\Delta Q(t) := \Delta QN \cdot \left[1 - \frac{8}{\pi^2} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{(2 \cdot n - 1)^2} \cdot \sin \left[\frac{\pi}{2} \cdot (2 \cdot n - 1) \right] \cdot \exp \left[\frac{-\pi^2 \cdot (2 \cdot n - 1)^2 \cdot a \cdot t}{4 \cdot L^2} \right] \right] \quad (6.1)$$

Где

ΔQN - величина изменения потерь в провальной зоне р. Чу, м³/сут;

$a = \frac{T}{\mu}$ - урвнeпpовoднoсть, м²/сут;

t - пepиoд вpeмeни oт мoмeнтa измeнeния филтpaциoнныx пoтepь, cут.

μ - гpaвитaциoннaя вoдooтдaчa;

L – прoтяжeннoсть пpoвaльнoй зoны, м;

T - вoдoпpoвoдимocть плacтa, м²/cут;

$$\tau = \frac{a \cdot t}{L^2}$$

Для оценки изменения потерь из р. Чу по данным нижерасположенных режимных скважин необходимо оценить изменения притока подземных вод на границе зон формирования и выклинивания (перед городом Токмак). Для этого использована зависимость (6.1).

По результатам гидрогеологических исследований, проведенных на рассматриваемой территории, приняты следующие значения гидрогеологических параметров, В. М. Шестаков (1980):

$$T = 10000 \text{ м}^2/\text{сут}, \mu = 0.18, L = 43200 \text{ м}$$

Типовое значение фильтрационных потерь в провальной зоне $20 \text{ м}^3/\text{с}$ ($1728000 \text{ м}^3/\text{сут}$). Рассмотрено 2 случая – потери сокращены на $10 \text{ м}^3/\text{с}$ и потери доведены до нуля (сокращение на $20 \text{ м}^3/\text{с}$). Результаты расчетов представлены в графическом виде на рис.13.

Расчеты показывают, что сокращение фильтрационных потерь приведет к уменьшению притока в зону выклинивания, однако, это произойдет через много лет. Отток в зону выклинивания только через 20 лет уменьшится на величину, равную 50 % от объемов уменьшения фильтрационных потерь. Таким образом, оценка изменения фильтрационных потерь по скважинам нижерасположенной зоны выклинивания бесперспективна из-за длительного периода запаздывания.

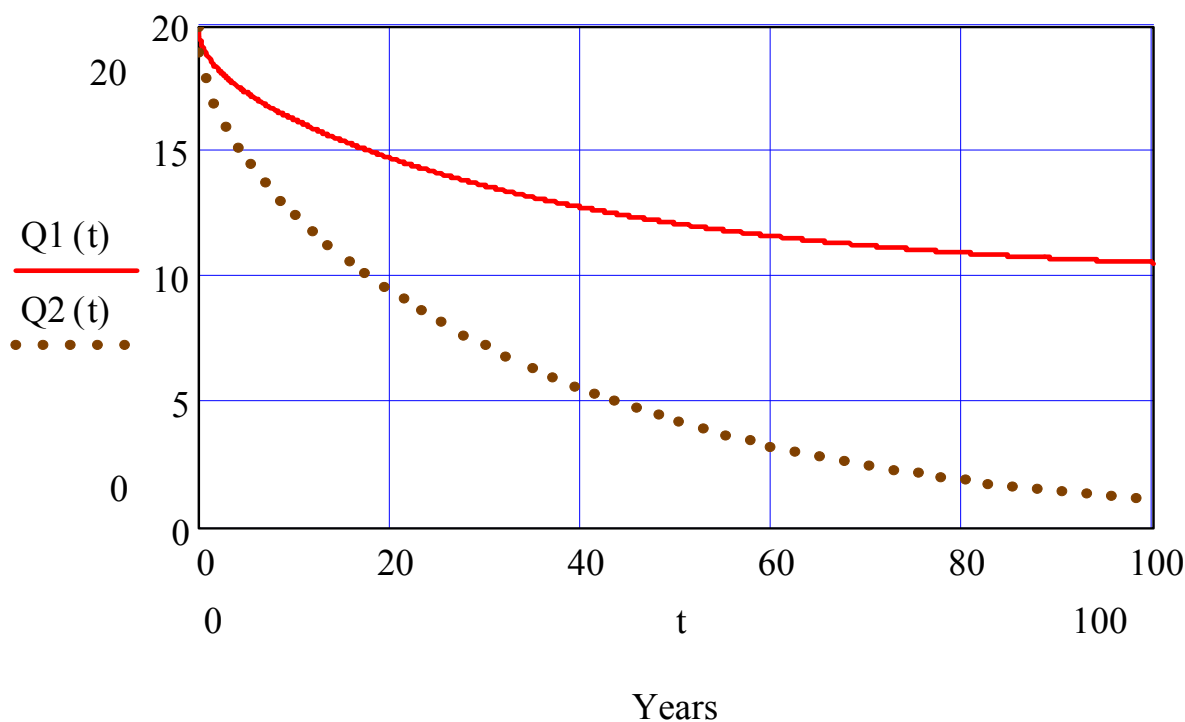


Рис.13. Изменение оттока подземных вод из провальной зоны р. Чу при уменьшении фильтрационных потерь ($Q1(t)$ – сокращение потерь на $10 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q2(t)$ – сокращение потерь на $20 \text{ м}^3/\text{с}$)

В модели 2 (поток подземных вод, перпендикулярный руслу р. Чу), **рис. 14**, граничное условие под р. Чу (при $x = 0$) зависит от времени и имеет вид:

$$S(0, t) = v \cdot t \quad (6.1)$$

Подобные задачи применительно к расчету влияния водохранилищ на уровни подземных вод рассматривались в работах С. К. Абрамова (1960), В. М. Шестакова (1965). В нашем случае изменения уровней подземных вод может быть рассчитано по нижеследующей зависимости:

$$S(x, t) = \frac{w}{\mu} \cdot t \cdot \left[\left(1 + 2 \cdot \lambda(x, t)^2 \right) \cdot \operatorname{erfc}(\lambda(x, t)) - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \lambda(x, t) \cdot \exp(-\lambda(x, t)^2) \right], \quad (6.2)$$

Где $S(x, t)$ – понижение уровней подземных вод в момент t , на расстоянии x от р. Чу.

$$\operatorname{erfc}(\lambda) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_{\lambda}^{\infty} \exp(-x^2) dx \quad \lambda(x, t) = \frac{x}{2 \cdot \sqrt{a \cdot t}}$$

W – изменение питания за счет потерь из реки, м/сут.

Остальные обозначения прежние.

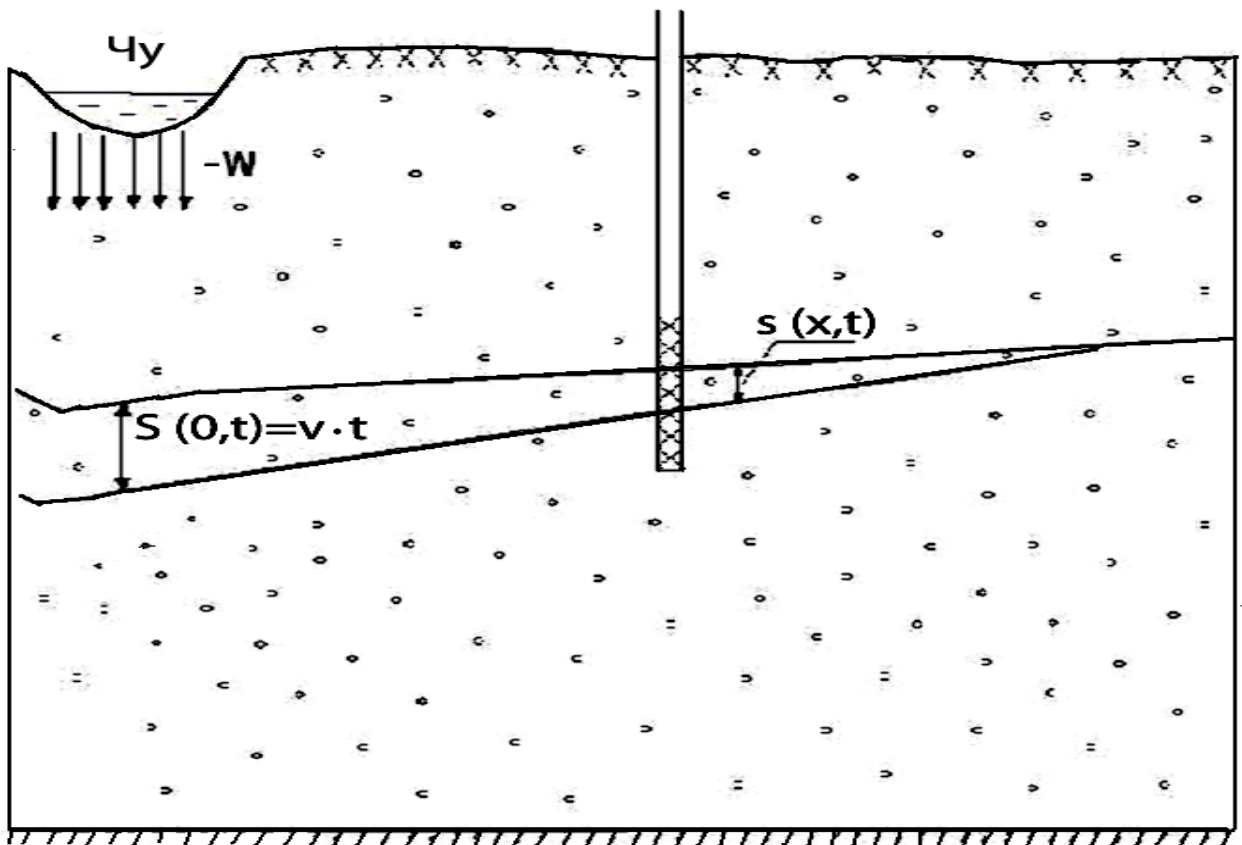


Рис.14. Фильтрационная схема ко 2-ой фильтрационной модели

Максимальная скорость снижения уровня W/μ . По скорости снижения уровня на линии реки можно оценивать величину снижения уровней подземных вод по створам, перпендикулярным руслу реки (модель 2). Пользуясь выражением (6.2) можно рассчитать ожидаемые понижения уровней на различных расстояниях от реки в разные моменты времени, рис.15.

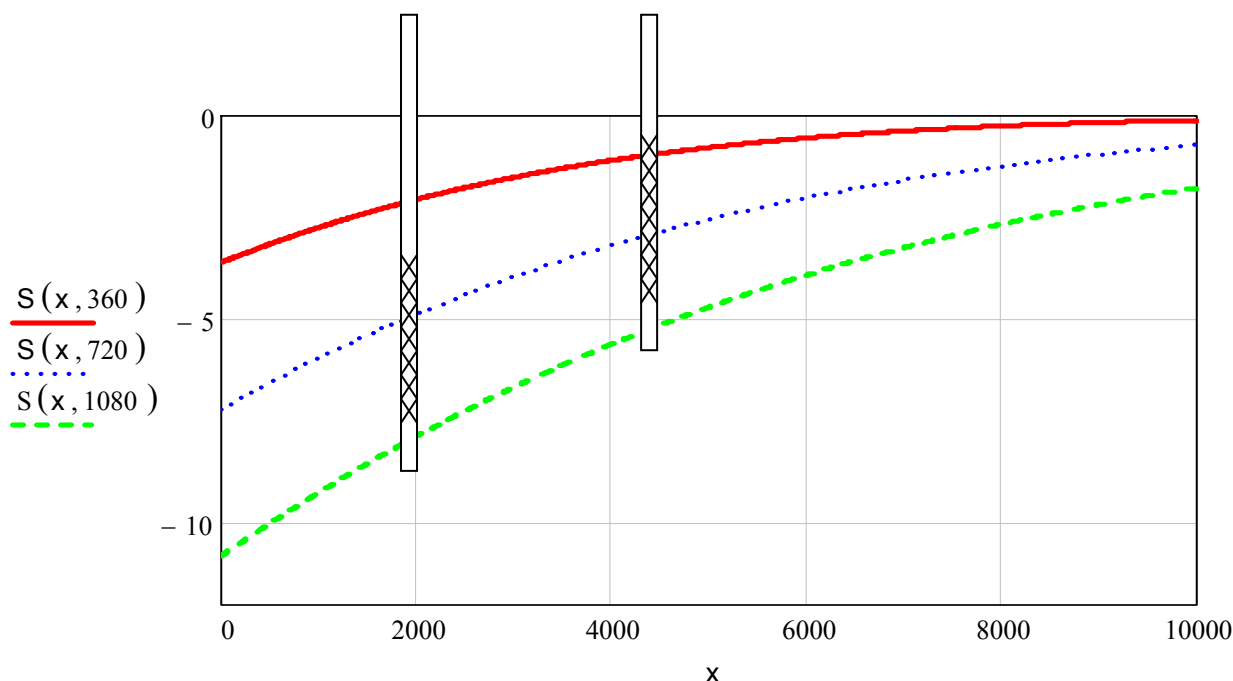


Рис.15. Распространение ожидаемых максимальных понижений уровней подземных вод в плане при рассматриваемом уменьшении питания

Проведенные разведочные расчеты в рамках 6-й главы позволили сделать следующие выводы:

А) Учитывая распространение «зоны резкой деформации» от действия фильтрационных потерь из р. Чу, рекомендуется организовать функционирование 2-х створов наблюдательных скважин, показанных на рис. 11. Каждый створ состоит из 3-х скважин: первая – в непосредственной близости от р. Чу, вторая – в 2-х километрах южнее, третья – в 3-х километрах южнее второй. Третья скважина восточного створа функционирует в настоящее время, ее номер 1085 (скважина ККГГЭ).

Б) Необходимо восстановить нормальный режим наблюдений по скважинам ККГГЭ № 1129 и 1178. Они расположены возле Бурулдайского моста, в 2000 г наблюдения прекращены, в 2012 году замеры восстановлены, но их достоверность вызывает сомнения. Данные по упомянутым скважинам позволяют оценить изменения под руслового потока в начале провальной зоны.

В) Допустимая частота наблюдений - 1 раз в месяц. Характер наблюдаемых данных показывает бесполезность более частых наблюдений, которые существенно увеличивают их суммарную трудоемкость.

Г) Для повышения достоверности результатов режимных наблюдений необходимо восстановить гидропост у Бурулдайского моста. Анализ режимных

данных должен подтверждаться русловым балансом рассматриваемого участка р. Чу.

ВЫВОДЫ

Основные научные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Разработан ряд новых методов и критериев применительно к обоснованию и расчетам осушительного действия дренажных систем, ориентированных на особенности межгорных долин Кыргызстана. Среди этих особенностей:

- слоистое строение осушаемых территорий;
- существенное влияние испарения грунтовых вод и его зависимость от глубины их залегания;
- резкое уменьшение водопроницаемости четвертичных отложений при переходе потока подземных вод из зоны формирования в зону выклинивания.

Разработанные методы направлены на обоснование схематизации слоистой водоносной толщи при расчетах горизонтального дренажа, на повышение достоверности учета испарения грунтовых вод в фильтрационных моделях, на количественную оценку влияния дополнительного водозабора подземных вод и реконструкции орошения в зоне формирования на уровне грунтовых вод зоны выклинивания Чуйской долины.

2. Получено новое решение задачи о дренажной скважине в слоистом водоносном горизонте, учитывающее разный характер инверсии испарения грунтовых вод на разных расстояниях от скважины. Границы зон различного характера инверсии испарения заранее неизвестны и определяются в процессе решения задачи. Подобные решения отсутствуют как в русскоязычных, так и в англоязычных периодических и других изданиях гидрогеологической литературы. Необходимость получения новых зависимостей диктовалась аридным характером климата рассматриваемых территорий.

3. Впервые для условий Кыргызстана исследовано прогнозное изменение дренажного модуля во времени на многослойной модели фильтрации северной части г. Бишкек. В начальный момент дренажный модуль в 2-3 раза больше, чем после стабилизации уровней подземных вод. Этот эффект необходимо учитывать при проектировании дренажных систем.

4. Разработан метод комплексного (более объективного) учета гидрогеологических факторов для оценки естественной уязвимости водоносных горизонтов, слоистого строения, типичного для межгорных долин Центральной Азии. Предлагаемый в диссертационной работе подход к оценке влияния гидрогеологических условий на уязвимость водоносного горизонта основан на анализе «отклика» гидрогеологической системы на водозабор подземных вод, который характеризует их подверженность загрязнению. В качестве комплексного критерия уязвимости предлагается отношение притока сверху, вызванного эксплуатацией водозабора, к его общему дебиту (Ψ критерий). В отдельных зонах величину Ψ можно определить, опираясь на полевой эксперимент (кустовая опытная откачка с множеством наблюдательных скважин и пьезометров). Более реальный путь – моделирование работы «виртуальных» скважин и водозаборов

по всей рассматриваемой территории, расчеты соответствующих значений Ψ и разделение исследуемой территории на соответствующие зоны.

Полученные результаты могут быть использованы для других межгорных долин Центральной Азии с типичными природными и гидрогеологическими условиями.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

А) Опубликованные в дальнейшем зарубежье (рецензируемые ведущие международные научные издания, издательства «Elsevier» и «Springer»)

1. Litvak, R. G. Groundwater Environment in Bishkek, Kyrgyzstan [Text] / R. G. Litvak, E. I. Nemaltseva, G. M. Tolstihin // Groundwater Environment in Asian Cities: Concepts, Methods and Case Studies. – Elsevier. – Printed in United Kingdom, 2015. –Chapter17. – P. 383-412.

2. Litvak R. G. Trends of Irrigation Development in the Kyrgyz Republic Within the Context of Climate Change [Текст] / R. G. Litvak, E. I. Nemaltseva, I. V. Poddubnaya //Book: Climate Change and its Effects on Water Resources: NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security 3. –Springer. – Printed in the Netherlands, 2011 – P. 175-184.

3. Litvak, R. G. Groundwater vulnerability assessment for intermountain valleys using Chu Valley of Kyrgyzstan as example [Text] / R. G. Litvak, E. I. Nemaltseva, B. L. Morris // Groundwater and Ecosystems: Nato Science Series. – Springer, – Printed in the Netherlands, 2006. – P. 107-120

4. Morris B. L. Assessing the extent of induced leakage to an urban aquifer using environmental tracers: an example from Bishkek, capital of Kyrgyzstan, Central Asia [Текст] / B. L. Morris, W. G. Darling, D. C. Gooddy, **R. G. Litvak**, I. Neumann, E. I. Nemaltseva, I. V. Poddubnaia // Hydrogeology Journal. Springer. – 2006. –Volume 14. –Number 1-2, January. –P. 225-243.

5. Morris, B. L. Evolution of Developing City Groundwater Protection Policies Kyrgyzstan [Текст] / B. L. Morris, **R. G. Litvak**, K. M. Ahmed. // Stakeholder Consultation Case Studies In Bangladesh and Kyrgyzstan in Procs of IAH 32 and ALHSUD 6 Congress, 21-25 October 2002 -Mar del Plata -Argentina –P. 11

6. Morris, B. L. Urban groundwater protection and management: lessons from developing cities in Bangladesh and Kyrgyzstan [Текст] / B. L. Morris, **R. G. Litvak**, K. M. Ahmed. // NATO Science Series:, IV Earth and Environmental Sciences. –Printed in the Netherlands, 2002. –Vol.8. – P. 77 – 102.

Б) Опубликованные в рецензируемых научных изданиях ближнего зарубежья

7. Литвак, Р. Г. Оценка естественной уязвимости водоносных горизонтов в условиях межгорных долин на примере Чуйской долины Кыргызстана [Текст] / Р. Г. Литвак // Наука и инновация (*научный журнал*): серия геологических и технических наук, Таджикский национальный университет. –2018. –№ 3, – С. 3-12.

8. Литвак, Р. Г. Расчеты понижений уровней грунтовых вод от действия скважин вертикального дренажа в условиях аридного климата [Текст] / Р. Г. Литвак // В сборнике Института Водного Хозяйства Грузии. –2012. – №66. – С.139-142.

9. Рекомендации по использованию методов оперативного прогноза мелиоративного состояния земель с учетом изменения эксплуатационных характеристик крупных гидромелиоративных систем [Текст] / Р. Г. Литвак, А. У Усманов. и др. // Рассмотрены и одобрены секцией Ученого Совета мелиорации и водохозяйственных проблем САНИИРИ (протокол № 10 от 29 марта 1985 г.). САНИИРИ, – Ташкент, 1985, –116 с.

В) Опубликованные в рецензируемых научных изданиях Кыргызстана

10. Литвак, Р. Г. Обоснование схем мониторинга трансграничных подземных вод Чуйской долины Кыргызстана [Текст] / Р. Г. Литвак, Е. И. Немальцева // Вестник Кыргызского аграрного университета. – 2018. –№2(47). – С. 269-274

11. Литвак, Р. Г. Испарение грунтовых вод и расчеты систем горизонтального дренажа в условиях межгорных долин центральной Азии [Текст] / Р. Г. Литвак. - Интернет журнал ВАК Кыргызской Республики, –2015. –№ 1. – 9 с.

12. Литвак, Р. Г. Схематизация слоистой водоносной толщи при расчетах горизонтального дренажа в условиях межгорных долин Кыргызстана [Текст] / Р. Г. Литвак // Интернет журнал ВАК Кыргызской Республики. – 2013. – № 2. – 8 с.

13. Litvak, R. G Trends of Irrigation Development in the Chu Valley within the Context of Shortage in Surface Water Resources [Текст] / R. G. Litvak, E. I. Nemaltseva, I. V. Poddubnaya // The Roles of Academies of Sciences in Water and Energy Problems in Central Asia and Ways for Their Solution: AASA Regional Workshop, –Бишкек, 2011. – С. 79-84.

14. Литвак, Р. Г. Количественный анализ причин подтопления подземными водами орошаемых территорий канала «Савай» [Текст] / Р.Г Литвак, Е.И Немальцева, И.В. Поддубная // Проблемы обеспечения продовольственной безопасности государств – участников СНГ: национальный и международный аспекты: Мат. межд. конф. 18-19 мая. –Бишкек, 2011. – С 40-45.

15. Литвак, Р. Г. Расчеты вертикального дренажа в межгорных долинах Кыргызстана с учетом неоднородной инверсии испарения грунтовых вод [Текст] / Р. Г. Литвак, Е. И. Немальцева // Вестник Кыргызского аграрного университета. –2008. –№1(9). – С. 178-182.

16. Литвак, Р.Г. Возможности регулирования баланса подземных вод межгорных впадин водохозяйственными мероприятиями в предгорной зоне [Текст] / Р. Г. Литвак, Е. И Немальцева, Е. Г. Попова // Материалы международной конференции “Высокогорные исследования: изменения и перспективы в XXI веке”, Международный университет Кыргызстана, – Бишкек, 1996. – С. 569-570.

17. Литвак, Р. Г. Получение аналитической зависимости изменения оттока от изменения питания подземных вод в зоне формирования межгорной впадины с помощью геофильтрационной модели [Текст] / Р. Г. Литвак., Е. И. Не-

мальцева // В сб. “Вопросы разработки и эксплуатации автоматизированных гидромелиоративных объектов” – ВНИИКАМС. Фрунзе, 1990. – С. 57-60

18. Литвак, Р. Г. Применение геофильтрационного моделирования для разработки рациональных схем водозаборов подземных вод мелиоративно-ирригационного назначения [Текст] / Р. Г. Литвак // Материалы научно-практической конференции. (Геологическая служба Киргизии). – Фрунзе, Илим, 1990. – С. 195-198

19. Литвак, Р. Г. Обоснование применимости аналитических расчетов для оценки изменений оттока подземных вод из зоны формирования в зону выклинивания [Текст] / Р. Г. Литвак, Е. И. Немальцева, С. Д. Бурмин // сб науч. тр. ВНИИКАМС: Технология, механизация и автоматизация орошения. – Фрунзе, 1987. – С. 29-35 с.

20. Литвак, Р. Г. Совместное моделирования фильтрации подземных вод зон формирования и выклинивания межгорных впадин [Текст] / Р. Г. Литвак, О. Т. Андропова // В сб научных статей. “Вопросы автоматизации процессов водораспределения и полива в мелиорации. – Фрунзе, 1986, с. – С. 108-113.

21. Литвак, Р. Г. Представление взаимосвязи грунтовых вод с поверхностными и с зоной аэрации на геофильтрационных моделях Чуйской впадины [Текст] / Р. Г. Литвак, Е. И. Немальцева, С. А. Зубченко // В сб. “Вопросы технологии и автоматизации водораспределения”, ВНИИКАМС – Фрунзе, 1985. – С. 30-36.

Г) Дополнительные издания

22. Litvak R.G., Trends of Irrigation Development in the Kyrgyz Republic within the Context of Climate Change // Climate Change and its Effect on Water Supplies – Issues of National and Global Security. Izmir/ 01-04 september 2010, С. 24-25.

23. Litvak, R. G. Problems of groundwater protection in intermountain valleys and possibilities for solving these ones. Groundwater and Ecosystems. [Text] / R. G. Litvak, E. I. Nemalseva, B. L. Morris // Advanced Research Workshop 5-7 September. – Canakale, Turkey. 2005. – P. 15-16

24. Литвак Р. Г. Система автоматизированной оценки ресурсов поверхностных и подземных вод Кыргызской Республики» [Текст] / Р. Г. Литвак, Е. И. Немальцева, И. В. Поддубная, В. Л., Е. П. Сахваева // Водный баланс, ресурсы поверхностных и подземных вод: Мат. VI Всероссийского гидрологического съезда, Секция 3. – С-П. Гидрометеиздат. – 2004. – С. 51-52

25. Литвак Р. Г. Оценка естественной защищенности подземных вод Чуйской долины Кыргызской Республики от загрязнения [Текст] / Р. Г. Литвак, Е. И. Немальцева, И. В. Поддубная, В. Л. Morris // Гидрологические и водохозяйственные расчёты: Мат. VI Всероссийского гидрологического съезда, Секция 5. – С-П, Гидрометеиздат. – 2004. – С. 106-107.

26. Литвак, Р. Г. Борьба с опустыниванием орошаемых земель установлением рациональных водных балансов подземных вод в условиях межгорных впадин Средней Азии [Текст] / Р. Г. Литвак, Е. И. Немальцева, Е. Г. Попова // В сб. “Национальный семинар по борьбе с опустыниванием земель в Кыргызстане”, – Бишкек, 1997. – С. 74-80.

27. Литвак, Р. Г. Прогнозирование влияния реконструкции орошения в предгорной зоне на режим и баланс подземных вод нижележащих территорий межгорных впадин [Текст] / Р. Г. Литвак, С. Л. Бурмин // Совершенствование автоматизации оросительных систем: Мат. Всес. научно-технической конференции. 23-25 июня 1987 г., г. - Херсон, М. – 1987. -С. 31-33

28. Литвак, Р. Г. Методика и результаты совместного моделирования фильтрации подземных вод зон формирования и выклинивания межгорных впадин [Текст] / Р. Г. Литвак, О. Т. Андропова // Материалы VIII межреспубликанской конференции молодых ученых. –Фрунзе, “Илим” 1986, с. – С.126-127.

29. Литвак Р. Г. Автоматизированный расчет испарения грунтовых вод на орошаемых территориях и его точность [Текст] / Р. Г. Литвак, Е. И. Немальцева, // Автоматизация водораспределения на оросительных системах в целях экономии и охраны водных ресурсов: Мат. Всесоюзного научно-технического совещания. – Фрунзе, ВНИИКАМС. –1984. С. 12-14.



РЕЗЮМЕ

«Кыргызстандын тоо арасындагы өрөөндөрүнүн шарттарында гидрогеологиялык көйгөйлөрдү математикалык жактан моделдөө менен чечүү» боюнча **Рафаэль Григорьевич Литвактын** диссертациясы Техника илимдеринин докторунун окумуштуулук даражасын жактоого карата, адистиги 25.00.07 – Гидрогеология

Өзөктүү сөздөр: жер алдындагы суулар, дренаж системаларынын эсептөөлөрү, буулануу инверсиясы, гео чыпкалоо (фильтрация) моделдери, жер алдындагы суулардын ызалантуусу, тоо арасындагы өрөөндөр.

Изилдөө объекттери - тоо арасындагы өрөөндөрдүн жер алдындагы суулары, суу каптоого жакын тоо арасындагы өрөөндөрдөгү аймактар.

Изилдөө буюмдары (предметтери) – жер алдындагы сууларды чыпкалоо (фильтрация), суу каптаган аймактарды кургатуу, Борбор Азиянын тоо арасындагы өрөөндөрүнүн шарттарында колдонууга боло турган жер алдындагы суулардын корголушу.

Диссертациялык изилдөөлөрдүн негизги максаты – калк жайгашкан пункттарды жана сугат жерлерди жер алдындагы суулардын каптоосунан коргоо көйгөйлөрүн чечүү, суулуу горизонттордун табигый ызалантуусун баалоо, Кыргызстандын тоо арасындагы өрөөндөрүнүн спецификалык шарттарында колдонууга боло турган жер алдындагы суулардын мониторинги үчүн чыпкалоо (фильтрация) процесстерин моделдөө ыкмаларын (методдорун) иштеп чыгуу жана модификациялоо.

Изилдөө ыкмалары (методдору): жер алдындагы суулардын стационардык эмес жана стационардык чыпкалоосунун (фильтрация) математикалык моделдери.

Алынган натыйжалар жана алардын жаңылыгы:

1. Кыргызстандын тоо арасындагы өрөөндөрүнүн өзгөчөлүктөрүнө багытталган, кургатууга карата дренаждык системалардын иш-аракеттерин негиздөөгө жана эсептөөгө карата колдонууга боло турган бир катар жаңы ыкмалары жана критерийлери иштелип чыкты. 2. Скважинадан баштап ар кандай аралыктагы жер алдындагы суулардын буулануу инверсиясынын ар кандай мүнөздөрү эсепке алынган, суу жатуучу катмарлуу горизонттогу дренаждык скважина тууралуу маселенин жаңы чечилиши алынды. Буулануунун ар кандай мүнөздөгү инверсиясынын зоналарынын чектери белгисиз жана ал маселени чечүүнүн жүрүшүндө аныкталат. 3. Кыргызстандын шарттарында биринчи жолу чыпкалоонун (фильтрация) көп катмарлуу моделине карата убакыттык дренаждык модулдун күтүлүүдөгү өзгөрүүсү изилденди. Жер алдындагы суулардын деңгээли турукташкандан кийинкиге караганда, дренаждык модуль баштапкы учурда 2-3 эсеге чоң. Бул натыйжаны, коргоо жабдууларын долборлоо учурунда эске алуу керек. 4. Борбор Азиянын тоо арасындагы өрөөндөрү үчүн мүнөздүү суу жаткан горизонттордун табигый ызалантуусун, катмарлуу түзүлүшүн баалоо үчүн гидрогеологиялык факторлорун объективдүү эсепке алуу ыкмасы (методу) иштелип чыкты.

Колдонуунун деңгээли: алынган жыйынтыктар, Кыргызстандын калк жайгашкан пункттарын суунун каптоосунан коргоо системаларынын көптөгөн техникалык долбоорлорунун ажырагыс бөлүгү болуп саналат. Ишке киргизүү жана колдонуу боюнча 6 акт бар.

Колдонуу тармагы (чөйрөсү): дренаждык системаларды долборлоо, жер алдындагы суулардын ызалантуусун баалоо жана мониторинг.

РЕЗЮМЕ

Диссертации Литвака Рафаэля Григорьевича «Решение гидрогеологических проблем математическим моделированием в условиях межгорных долин Кыргызстана». На соискание ученой степени доктора технических наук, специальность 25.00.07 – Гидрогеология

Ключевые слова: подземные воды, расчеты дренажных систем, инверсия испарения, геофильтрационное моделирование, уязвимость подземных вод, межгорные долины.

Объекты исследования - подземные воды межгорных долин; территории межгорных долин, склонные к подтоплению.

Предметы исследования – фильтрация подземных вод, осушение подтопленных территорий, защищенность подземных вод применительно к условиям межгорных долин Центральной Азии.

Основная цель диссертационных исследований – разработка и модификация методов моделирования фильтрационных процессов для решения проблем защиты населенных пунктов и орошаемых территорий от подтопления подземными водами, оценки естественной уязвимости водоносных горизонтов, мониторинга подземных вод применительно к специфическим условиям межгорных долин Кыргызстана.

Методы исследования: математическое моделирование нестационарной и стационарной фильтрации подземных вод, математические оценки фильтрационных процессов.

Полученные результаты и их новизна:

1. Разработан ряд новых методов и критериев применительно к обоснованию и расчетам осушительного действия дренажных систем, ориентированных на особенности межгорных долин Кыргызстана. 2. Получено новое решение задачи о дренажной скважине в слоистом водоносном горизонте, учитывающее разный характер инверсии испарения грунтовых вод на разных расстояниях от скважины. Границы зон различного характера инверсии испарения заранее неизвестны и определяются в процессе решения задачи. 3. Впервые для условий Кыргызстана исследовано ожидаемое изменение дренажного модуля во времени на многослойной модели фильтрации. В начальный момент дренажный модуль в 2-3 раза больше, чем после стабилизации уровней подземных вод. Этот эффект необходимо учитывать при проектировании защитных сооружений. 4. Разработан метод комплексного учета гидрогеологических факторов для оценки естественной уязвимости водоносных горизонтов, слоистого строения, типичного для межгорных долин Центральной Азии.

Степень использования: полученные результаты являются неотъемлемой частью многих технических Проектов систем защиты от подтопления населенных пунктов Кыргызстана. Имеются 6 актов внедрения и использования.

Область применения: проектирование дренажных систем, оценка уязвимости и мониторинг подземных вод.

SUMMARY

of the Dissertation of Litvak Rafael Grigoryevich “Solution of Hydrogeological problems by Mathematical Simulation under the Conditions of Intermountain Valleys of Kyrgyzstan” for the Academic Degree of the Doctor of Technical Sciences, specialty 25.00.07 – Hydrogeology.

Key words: ground waters, drainage system calculations, evaporation inversion, ground water modeling, ground water vulnerability, intermountain valleys

Objects of the research: ground waters of intermountain valleys, intermountain valley territories liable to underflooding.

Subjects of the research: ground water filtration, drowned territory drainage, ground water protection from the perspective of the intermountain valleys of the Central Asia.

Primary goal of the Dissertation research – development and modification of methods for the simulation of filtration processes to solve the problems of protecting human settlements and irrigated areas from underflooding by ground water, and for the assessment of natural vulnerability of water-bearing horizons, and for the monitoring of ground waters in relation to the specific conditions of intermountain valleys of Kyrgyzstan.

Methods of the research: mathematical simulation of non-stationary and stationary filtration of ground waters, mathematical estimates of filtration processes.

Obtained results and their novelty:

1. A variety of new methods and criteria have been developed in the context of substantiation and calculations of drainage action of the drainage systems oriented to features of intermountain valleys of Kyrgyzstan. 2. The new solution of the problem has been obtained regarding the drainage holes in the layered water-bearing horizon, taking into account the different nature of evaporation inversion of ground waters at different distances from the borehole. The borders of zones of different evaporation inversion are unknown in advance and shall be determined in the process of solving the problem. 3. For the first time in Kyrgyzstan conditions the expected change in the drainage module in time on a multi-layer filtration model has been researched. At the initial moment the drainage module is 2-3 times more than after stabilization of groundwater levels. This effect must be considered when designing protective structures. 4. A method to objective recording of hydrogeological factors for assessing natural vulnerability of water-bearing horizons, layered structure typical for the intermountain valleys of the Central Asia.

Extent of application: The obtained results are an integral part of many technical Projects for systems of protection from underflooding of settlements of Kyrgyzstan. There are 6 acts of introduction and use.

Scope of application: drainage system designing, vulnerability assessment and ground water monitoring.

