

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ И ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ**

**На правах рукописи**

**УДК 556.3.013.001**

**НЕМАЛЬЦЕВА ЕКАТЕРИНА ИВАНОВНА**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОФИЛЬТРАЦИОННОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ БАЛАНСОВ  
ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ ЗАПАСОВ  
И ЗАЩИТЫ ТЕРРИТОРИЙ ОТ ПОДТОПЛЕНИЯ  
(НА ПРИМЕРЕ ЧУЙСКОЙ ВПАДИНЫ)**

**Специальность:** 25.00.07. – Гидрогеология  
25.00.27. – Гидрология суши, водные ресурсы,  
гидрохимия

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Бишкек – 2006**

**Научные руководители:** доктор технических наук, академик НАН Кыргызской Республики Д.М. Маматканов  
кандидат технических наук Р.Г. Литвак

**Официальные оппоненты:** доктор геолого-минералогических наук Мамыров Э.М.  
кандидат геолого-минералогических наук Мандычев А.Н.

Ведущая организация: Кыргызская комплексная гидрогеологическая Экспедиция Государственного агентства по геологии и минеральным ресурсам при Правительстве Кыргызской Республики

Защита диссертации состоится 16 июня 2006 г. в 10 часов на заседании Диссертационного Совета Д.25.06.311 при ИВПиГЭ НАН КР

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИВПиГЭ НАН КР

Отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения с указанием даты, просим направлять Ученому секретарю Диссертационного Совета Д.25.06.311 по адресу 720033, Кыргызская Республика г. Бишкек, ул. Фрунзе 53

Автореферат разослан « 15 » мая 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета кандидат физико-математических наук



Т.В. Тузова

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы.** В настоящее время в Чуйской долине Кыргызской Республики сложилось тяжелое положение в связи с нерациональным использованием водных ресурсов и резким поднятием уровней грунтовых вод, которое привело к ухудшению мелиоративного состояния орошаемых земель и подтоплению населенных пунктов. 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 населенных пунктов подвержены подтоплению и более 100 находятся в потенциальных зонах подтопления". В постановляющей части документа среди других мер по ликвидации такого положения планируется "...разработка проектов технических мер защиты населения и территорий от подтопления на основе гидрогеологических исследований". Разработка таких проектов обязательно включает прогнозирование изменений уровня и баланса подземных вод под влиянием принимаемых мер, что в свою очередь, требует разработки ряда новых методических приемов для автоматизированных балансовых расчетов применительно к специфическим условиям межгорных впадин. **Связь работы с научными программами и темами.** Работа выполнена в период работы автора в лаборатории мелиоративной гидрогеологии и водохозяйственных проблем (МГиВП) в качестве ответственного исполнителя при реализации тематических планов научных исследований Кыргызского НИИ ирригации (КНИИИР). Эти планы соответствуют государственным программам "Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов" (утверждена постановлением Правительства № 342 от 23.11.1990) и "Земля" (утверждена постановлением Правительства № 548 от 17.08.1998). Выполненные исследования предусмотрены отраслевыми программами Министерства сельского, водного хозяйства и перерабатывающей промышленности и Пообъектными планами геологоразведочных работ Комитета по геологии и минеральным ресурсам при правительстве Кыргызской Республики.

**Цель и задачи исследований.** Целью исследований является разработка и модификация методических приемов прогнозирования изменений составляющих баланса подземных вод под влиянием водохозяйственных мероприятий в условиях межгорных впадин. Прогнозирование производится на основе математических моделей нестационарной фильтрации подземных вод (в дальнейшем они называются геофильтрационными моделями). Предлагаемые в диссертационной работе методические приемы должны обеспечивать раздельное прогнозирование составляющих вертикального водообмена грунтовых вод, с поверхностными и с зоной аэрации. Для достижения этой цели должны быть решены следующие задачи:

- разработка и реализация алгоритмов расчета составляющих баланса подземных вод на каждом временном шаге геофильтрационной модели с учетом нелинейной зависимости от глубины залегания уровней грунтовых вод (УГВ);

- разработка структуры базы входных и выходных гидрогеологических и водохозяйственных данных, которые служат информационным обеспечением используемых моделей фильтрации подземных вод;
- оценка запасов подземных вод Кантской площади и разработка мер защиты земель западной части Чуйской впадины от подтопления с использованием геофильтрационной модели, включающей разработанные в диссертации алгоритмы и методические приемы расчёта составляющих баланса подземных вод.

**Научная новизна:** 1. Впервые для сложных водохозяйственных условий межгорных впадин Кыргызской Республики разработаны и реализованы в виде программных модулей алгоритмы расчета составляющих баланса подземных вод на каждом временном шаге геофильтрационной модели (с учетом их нелинейной зависимости от глубины залегания УГВ). 2 Произведена оценка времени “запаздывания” изменений баланса подземных вод нижележащей территории под влиянием изменений питания подземных вод в зоне формирования. На основе геофильтрационного моделирования получена аналитическая зависимость для оценки времени “запаздывания”.

**Практическая значимость полученных результатов.** Результаты исследований автора являются неотъемлемой частью работ, посвященных решению актуальных практических задач, к числу которых относятся: подсчет запасов подземных вод на стадии предварительной разведки Кантской площади (1992); обоснование дренажных мероприятий на жилом массиве Бакай-Ата (1996); обоснование первоочередных мер по снижению УГВ на мелиоративно-неблагополучных землях западной части Чуйской долины на основе моделирования гидрогеологических процессов (2000); разработка компьютерной системы расчетов горизонтального дренажа для условий фермерских хозяйств Чуйской долины (2001), понижение УГВ с. Вознесенка (2005).

**Экономическая значимость полученных результатов.** Методами геофильтрационного моделирования обоснована возможность водоотбора подземных вод Кантской площади на водоснабжение г. Кант в размере 0,68 м<sup>3</sup>/с, на орошение подземными водами предгорий Кантской площади в размере 0,80 м<sup>3</sup>/с. Потенциальные эксплуатационные ресурсы исследуемой территории составляют 2,57 м<sup>3</sup>/с. Результаты использованы при подсчёте запасов подземных вод Кантской площади и могут быть рекомендованы при проектировании новых водозаборов подземных вод различного назначения. Проведено обоснование первоочередных мер по снижению УГВ на мелиоративно-неблагополучных землях западной части Чуйской долины, которое может быть использовано при проектировании защитных дренажных мероприятий, направленных на повышение урожайности орошаемых полей и повышение качества жизни населения на территориях, подверженных подтоплению грунтовыми водами.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

- методические приёмы расчётов и прогнозирования нестационарных балансов подземных вод на основе геофильтрационного моделирования при

- различных антропогенных воздействиях в условиях межгорных впадин;
- оценка времени “запаздывания” изменений баланса подземных вод нижележащих территорий, под влиянием изменений их питания в зоне формирования;
- структура информационной базы данных математической модели фильтрации подземных вод для сложных природных и водохозяйственных условий межгорных впадин;
- применение разработанных алгоритмов и методических приёмов для решения конкретных водохозяйственных задач (“Оценка запасов подземных вод для водоснабжения г. Кант”, “Защита земель западной части Чуйской впадины от подтопления”).

**Личный вклад соискателя.** Основной материал для диссертации был собран в период работы автора (с 1979 по 2006 гг.) в лаборатории МГиВП КНИИИР в качестве ответственного исполнителя НИР. Автором самостоятельно решены следующие задачи:

- адаптация программного комплекса геофильтрационной модели применительно к оценке запасов подземных вод Кантской площади и для обоснования мер по понижению УГВ западной части Чуйской впадины;
- разработка и реализация алгоритмов расчета составляющих баланса подземных вод на каждом временном шаге геофильтрационной модели (с учетом их нелинейной зависимости от глубины залегания УГВ);
- оценка времени “запаздывания” изменений баланса подземных вод на ниже расположенной территории под влиянием водохозяйственных мероприятий в предгорной зоне;
- разработка структуры базы данных моделей фильтрации подземных вод для сложных природных и водохозяйственных условий межгорных впадин.

Геофильтрационная модель, результаты модификации которой представлены в диссертации, создана сотрудниками лаборатории МГиВП КНИИИР под руководством Литвака Р.Г. при участии автора.

**Апробация работы.** Материалы диссертации докладывались: на Ученых Советах КНИИИР, на научном семинаре “Математическое моделирование гидрогеологических процессов” (Новосибирск, 1984), на Всесоюзном научно-техническом совещании “Автоматизация водораспределения на оросительных системах в целях экономии и охраны водных ресурсов” (Фрунзе, 1984), на Республиканской научной конференции молодых учёных (Фрунзе, 1986), на Всесоюзной научно-технической конференции “Совершенствование автоматизации оросительных систем” (Херсон, 1987), на Международной конференции “Высокогорные исследования: изменения и перспективы в XXI веке” (Бишкек, 1996); на Национальном семинаре “По борьбе с опустыниванием земель в Кыргызстане” (Бишкек, 1997), на VI Всероссийском гидрологическом съезде, Секция Водный баланс, ресурсы поверхностных и подземных вод. (Санкт-Петербург, 2004); in Groundwater and Ecosystems Workshop (Can kale, Turkey, 2005).

**Опубликованность результатов.** По теме диссертации опубликовано 13 работ, в том числе 5 – в зарубежных изданиях, 3 – единых.

**Объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения. Объём 156 страниц, включая 15 таблиц, 42 рисунка, 4 приложения и список использованных источников из 133 наименований.

Автор выражает глубокую признательность своим научным руководителям академику, д. т. н. Д. М. Маматканову и к. т. н. Р. Г. Литваку за постановку задачи, помощь и ценные указания в подготовке диссертационной работы. Автор также благодарен сотрудникам лаборатории МГиВП КНИИИР и ИВП и ГЭ НАН КР за оказанную помощь при подготовке данной работы.

## Основное содержание работы

**В первой главе** рассмотрены статьи и монографии по направлениям, связанным с тематикой диссертационной работы: традиционные исследования стационарных балансов подземных вод в межгорных впадинах; геофильтрационное моделирование и гидрогеологические исследования в Чуйской впадине, послужившие основой для диссертационной работы.

Под традиционными балансовыми исследованиями понимается составление стационарных балансов подземных вод значительных по площади территорий. Эти исследования для межгорных впадин проводились М. С. Алимовым (1979), У. М. Ахмедсафиным (1973), К. Г. Ганиевым (1979), Е. А. Калининой (1990) и др. Кроме того, в КР балансовые исследования проводились КНИИИР (М. И. Каплинский, 1965-1977, 1981-1989 гг.), Кыргызской Комплексной Гидрогеологической Экспедиции (ККГГЭ) и ОАО “Кыргызсуудолбоор”. Основные недостатки традиционных стационарных балансовых методов:

а) Невозможность оценки динамики составляющих баланса подземных вод. Это существенный недостаток, поскольку период стабилизации фильтрационных потоков после проведения водохозяйственных мероприятий в условиях Чуйской впадины может достигать 30 и более лет.

б) Без использования пространственной дискретизации проведение многовариантных расчетов представляет значительные трудности.

В диссертации результаты традиционных балансовых исследований использовались при задании на геофильтрационной модели: испарения грунтовых вод в зависимости от глубины их залегания и от выращиваемых культур (Д. А. Суумбаев 1966, 1972); инфильтрации осадков (М. И. Каплинский, 1977); выклинивания в естественные и искусственные дрены (В. М. Шестаков, 1982, Ю. С. Якиманский, 1988).

Геофильтрационное моделирование базируется на методах конечных разностей, общая теория которых развита в работах С. К. Годунова, В. С. Рябенского (1977). Широкое применение разностных схем в фильтрационных задачах началось в конце 60-начале 70 гг. прошлого века в работах Ф. Б. Абуталиева (1972), И. Е. Жернова, В. М. Шестакова (1971), В. Е. Шаманского (1969), G. F. Pinder and J. D. Bredehoeft (1968).

Среди более поздних работ, идеология которых повлияла на наши исследования, можно выделить работы: Л. Лукнера, В.М. Шестакова (1976), И.К. Гавич (1980), Е. А. Ломакина, В. А. Мироненко, В.М. Шестакова (1988), А. В. Birtles и др. (совместное моделирование зон формирования и выклинивания, 1977); De Marsily и др. (использование дополнительной разбивки модельных блоков, 1978); А. Р. Moench (оригинальные тестовые задачи для контроля численных алгоритмов, 1973). Отличительной особенностью современных работ, таких как W. Gossel и др. (2004), M. Nastev и др. (2005), является автоматизированное картирование результатов моделирования с использованием современных программных пакетов Mapinfo и других. Современные исследования в Кыргызской Республике, связанные с моделированием фильтрационных процессов, главным образом, касаются математических аспектов построения численных алгоритмов решения прямых и обратных задач (Ч. Джаныбеков, М. Д. Джаманбаев, М. У. Мурзакматов, 1982, 1989, 2002). Предлагаемые в них приемы идентификации фильтрационных параметров требуют точной и подробной информации о режимах УГВ и напорных вод.

В Чуйской впадине геофильтрационное моделирование выполнено В. М. Шестаковым, 1982, В. В. Ляхиным и др., 1982, Т. Д. Льяновым и А. В. Мамренко, 1995, Р. Г. Литваком и Е. И. Немальцевой, 1985, 1992, 1997, Г. А. Филипповой и А. В. Мамренко, 1992). В работе В. В. Ляхина и др. (1982) при моделировании вертикального водообмена зависимость от глубины залегания УГВ учитывалась только при “задании” на модели горизонтального дренажа, т.е. принималась во внимание только инверсия выклинивания. Аналогичная методика использовалась МГРИ при “детальной разведке” для Ала-Арчинского месторождения подземных вод (Т. Д. Льянов и А. В. Мамренко, 1995). Этот подход допустим при оценке запасов, но невозможен при определении мелиоративного эффекта от эксплуатации скважин.

В диссертации широко использованы совместные работы МГУ и ККГГЭ по западной части Чуйской впадины (В. М. Шестаков, 1982). Вместе с тем, вопросы водохозяйственной схематизации в указанной работе решены недостаточно полно. Прогнозные расчеты не сопровождаются соответствующими балансовыми расчетами, что не позволило дать четкое представление о том, какие статьи баланса будут покрывать прогнозный водозабор подземных вод. Кроме того, вертикальный водообмен задается на модели как суммарное “результатирующее питание грунтовых вод” в виде одной общей линейной функции от глубины их залегания. Это значительно затрудняет автоматизированные балансовые расчеты на промежуточных временных шагах. Для выбора наиболее рациональных схем расположения и эксплуатации водозаборов подземных вод необходимо определять степень их влияния на мелиоративное состояние земель, что связано с детальным прогнозированием баланса подземных вод. Так, испарение грунтовых вод должно рассматриваться отдельно от фильтрационных потерь, поскольку взаимная компенсация этих двух факторов даёт искаженное представление о мелиоративном состоянии земель.

В результате анализа литературных источников, основной целью исследования выбрана разработка и модификация методических приёмов по прогнозированию изменений составляющих баланса подземных вод под влиянием водохозяйственных мероприятий в условиях межгорных впадин. Предлагаемые в диссертации методические приёмы обеспечивают возможность раздельного прогнозирования составляющих вертикального водообмена грунтовых вод с поверхностными водами и с зоной аэрации. Это особенно важно при обосновании мер защиты территорий от подтопления грунтовыми водами и подсчёте запасов подземных вод с учётом мелиоративного эффекта.

Во второй главе описаны методические приёмы моделирования фильтрации подземных вод в Чуйской впадине. Основным методом проведённых исследований является метод математического моделирования нестационарной фильтрации подземных вод, позволяющий прогнозировать последствия различных проектных решений и осуществлять выбор наиболее рациональных вариантов. Методика выполненных в рамках диссертационной работы исследований включает:

1. Изучение и анализ гидрогеологических и водохозяйственных условий исследуемых объектов по фондовым материалам и литературным данным.
2. Схематизацию гидрогеологических и водохозяйственных условий исследуемых объектов, а также вычислительную схематизацию.
3. Математическое моделирование различных проектных вариантов и выбор наиболее рациональных решений.

Вертикальный водообмен грунтовых вод с поверхностными водами и с зоной аэрации  $W(h,t,x,y)$  определяется следующим уравнением:

$$W(h,t,x,y) = A_g + F_o + F_k + F_p - D - U, \quad (1)$$

где  $h$  – отметка уровня грунтовых вод, м;  $t$  – время, сут.;  $x, y$  – пространственные координаты, м;  $A_g$  – инфильтрация осадков в грунтовые воды;  $F_o$  – инфильтрация потерь оросительной воды, определяемая как:

$$F_o = F_m + F_s + F_c, \quad (2)$$

$F_k$  – фильтрационные потери в руслах рек и магистральных каналах;  $F_p$  – потери при промывном режиме орошения;  $D$  – выклинивание в естественные и искусственные дренажи;  $U$  – испарение грунтовых вод;  $F_m, F_s$  – фильтрационные потери в межхозяйственной и внутрихозяйственной оросительных сетях, соответственно;  $F_c$  – фильтрационные потери на полях.

В зоне выклинивания и транзита  $A_g$  определяется по кусочно-линейной зависимости  $A_g/A$  от глубины залегания УГВ  $h$ , предложенной М. И Каплинским (1977):

$$\frac{A_g}{A} = \begin{cases} -0,18h + 0,57, & h < h_{кр} \\ 0, & h > h_{кр} \end{cases}, \quad (3)$$

где  $A$  – годовая норма осадков,  $A_g/A$  – доля выпавших осадков, поступившая в

грунтовые воды;  $h_{кр}$  – критическая глубина залегания УГВ, примерно равная 3 м.

Среди составляющих вертикального водообмена грунтовых вод с поверхностными водами и с зоной аэрации наименьшей достоверностью характеризуется величина питания грунтовых вод за счёт ирригационных потерь  $F_o$ . В связи с этим при задании  $F_o$  был выбран простой путь – ориентация на многочисленные данные Бассейнового управления оросительными системами (БУОС) с учётом КПД оросительных систем.

Фильтрационные потери в оросительных системах территории принимаются независимыми от УГВ в пределах их предполагаемых колебаний (М.И. Каплинский, 1977). Складываются они из потерь в оросительных системах (поле, внутрихозяйственная сеть, межхозяйственная сеть), водохранилищ, местного стока, из магистральных каналов в границах территории.

Зависимость испарения с поверхности грунтовых вод  $U$  от глубины их залегания  $h$  не линейна, однако в определённых интервалах колебания  $h$ , указанную зависимость можно аппроксимировать в виде кусочно-линейной функции:

$$U = \begin{cases} ah + b, & h < h_{кр} \\ 0, & h > h_{кр} \end{cases}, \quad (4)$$

где  $a, b$  – коэффициенты линейной связи, зависящие от периода вегетации и выращиваемых культур, определены с использованием лизиметрических исследований, проведённых в Чуйской впадине (Д.А Суюмбаев, 1965);  $h_{кр}$  – критическая глубина залегания УГВ с которой прекращается испарение, м.

Выклинивание в коллекторно-дренажную сеть  $D$  в пределах модельного блока подразделяется на две составляющие  $D_1$  и  $D_2$ , где  $D_1$  выклинивание в обычный дренаж,  $D_2$  выклинивание в крупные линейные водотоки.  $D_1$  вычисляется по формуле:

$$D_1 = \xi (h - H_d), \quad (5)$$

где  $h$  – уровень грунтовых вод в модельном блоке;  $H_d$  – уровень воды в дрене, м.

Зависимость для  $\xi$  может быть представлена в виде (В. М. Шестаков, 1965):

$$\xi = \frac{\pi K_v L}{8 m_p \ln \frac{m_p}{\pi \cdot d}}, \quad (6)$$

где  $L$  – общая длина коллекторно-дренажной сети в блоке,  $K_v, m_p$  – коэффициент фильтрации и мощность покровных отложений, соответственно;  $d$  – приведенный диаметр дрены.

Выклинивание грунтовых вод в крупные линейные водотоки  $D_2$  задаётся на моделях в соответствии с работой (Р. Г. Литвака, 1977).

В формулах для расчёта испарения  $U$  и выклинивания  $D$  фигурирует глубина залегания грунтовых вод  $h$ , однако большинство модельных блоков рассматриваемой территории содержит несколько сопоставимых по площади областей с раз-

личными глубинами залегания УГВ. Встаёт вопрос об установлении единой величины  $h$  для всего модельного блока. Дело осложняется наличием в пределах одного блока “испаряющих” и “не испаряющих” зон (территории, где УГВ находится выше и ниже критической глубины). Если в качестве  $h$  брать средневзвешенную глубину залегания УГВ в блоке, то может получиться, что  $h$  будет больше критической глубины, т.е. испарение в этих блоках будет равно нулю, что противоречит истине, поскольку в блоке имеются зоны, где  $h < h_{кр}$ , т.е.  $U \neq 0$ .

Для преодоления отмеченных трудностей предложена автоматизированная методика расчёта  $U$  и  $D$ , использующая дополнительную криволинейную разбивку модельных блоков по зонам, границы которых совпадают с границами интервалов глубин залегания УГВ. Формы и размеры блоков при такой разбивке не вносят погрешностей, связанных с пространственной дискретизацией.

Математическая постановка решаемой задачи соответствует трехпластовой шестислойной системе (покровные отложения, три водоносных горизонта и две слабопроницаемые прослойки). Система уравнений решается методом конечных разностей.

В каждом модельном блоке формируется своя нелинейная функция вертикального водообмена  $W(h,t,x,y)$  (рис. 1).

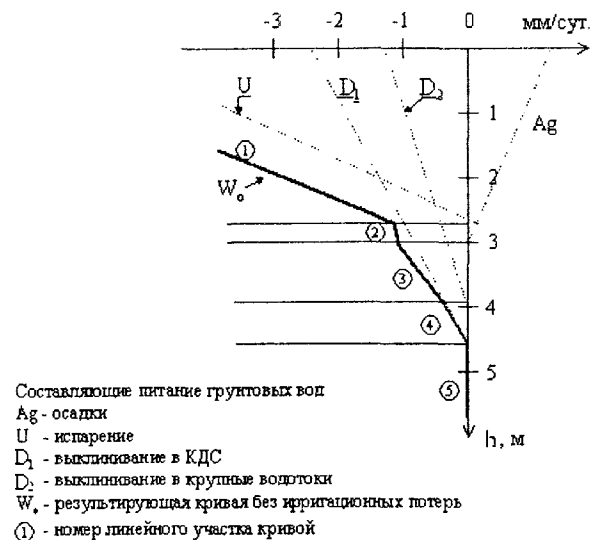


Рис. 1. График зависимости составляющих питания грунтовых вод от глубины их залегания для одного модельного блока Чуйской впадины

Нелинейный характер функции  $W(h,t,x,y)$  в каждом модельном блоке очевиден. До разработки предлагаемых методических приемов задания на геофильтрационной модели вертикального водообмена кусочно-линейная функция  $W(h,t,x,y)$  при-

ближенно представлялась, в самом начале процесса моделирования одной линией. Основные недостатки такого подхода: значительные погрешности прогноза составляющих баланса подземных вод и УГВ и несоответствие прогнозных балансов распределению глубин залегания УГВ. При этом невозможно проверить результаты моделирования балансовыми расчетами на “временных шагах” модели. Для преодоления этих недостатков предложен методический прием, представляющий собой отдельную линеаризацию  $W(h,t,x,y)$  на каждом временном шаге. Предлагаемый процесс состоит из следующих взаимосвязанных этапов:

1. На начало каждого временного шага “ $n$ ” для каждого модельного блока сохраняется информация о всех линейных элементах  $W(h,t,x,y)$  (примерно 3-5 отрезков в каждом блоке). Производится определение отрезка, на который после “ $n-1$ ” временного шага попадает отметка УГВ (например, отрезок 3, см. рис. 1);

2. Функция  $W(h,t,x,y)$  в рассматриваемом модельном блоке в пределах временного шага “ $n$ ” считается линейной с коэффициентами линейной связи между  $W(h,t,x,y)$  и  $h$  теми же, что и у отрезка 3. Производится предварительное определение УГВ и напоров в модельных блоках на временном шаге  $n$ ;

3. В каждом “пространственном блоке” модели анализируется положение вновь найденных значений УГВ (для выбранного блока это положение новых УГВ относительно концов отрезка 3). Если предварительные УГВ не выходят за пределы отрезков, то они считаются окончательными и можно производить необходимые балансовые расчеты и переходить к новому временному шагу. Если УГВ выходят за пределы отрезка, то процесс моделирования приостанавливается и производится уменьшение продолжительности временного шага. Далее, временной шаг  $n$  повторяется заново.

Алгоритм реализован в программных модулях *ABSUM1* и *UGVP5*.

При решении прогнозных гидрогеологических и водохозяйственных задач в зонах выклинивания и транзита граничные условия часто задаются в виде постоянного притока из зоны формирования (граничные условия 2 рода с постоянным во времени расходом). Однако при решении задач долгосрочного прогноза с учетом влияния водохозяйственных задач в предгорной зоне необходимо либо включать зону формирования в моделируемую территорию, либо задавать ее влияние упомянутыми условиями 2-го рода с заранее неизвестным переменным во времени притоком. Реализация первого подхода связана с большими временными затратами и существенными методическими трудностями. Для осуществления второго подхода возникла необходимость получить простую зависимость, позволяющую рассчитывать влияние водохозяйственных мероприятий в предгорной зоне на поток подземных вод через рассматриваемую границу.

Имеется опыт прогнозирования изменений упомянутого потока балансовыми методами (Каплинский М. И., 1977). Однако этот подход позволяет прогнозировать только установившееся состояние. Попыты на геофильтрационной модели западной части Чуйской впадины, проведенные автором, показали, что период “выхода” на стационарный поток через границу зоны формирования и выклинивания для этой территории может длиться более 25 лет, в зависимости от водо-

проводимости пород зоны формирования и области интенсивного выклинивания подземных вод. Существенная нестационарность процесса и длительность его стабилизации указывают на важность учета изменений оттока подземных вод в зависимости от времени.

На базе геофильтрационной модели, созданной для западной части Чуйской впадины, получена аналитическая зависимость для расчёта оттока подземных вод из зоны формирования в зону выклинивания. Произведена оценка времени “запаздывания” изменений баланса подземных вод нижележащей территории под влиянием изменений питания подземных вод в зоне формирования.

Предлагается следующий общий вид искомой зависимости:

$$Q = Q_k + (Q_n - Q_k) \exp(-\beta t), \quad (7)$$

где  $Q$  – отток подземных вод из зоны формирования в зону выклинивания, м<sup>3</sup>/сут;  $Q_n$ ,  $Q_k$  – начальный и конечный установившийся отток подземных вод

$\beta = \frac{a}{L^2} \gamma$ ;  $a = \frac{T}{\mu}$ ;  $t$  – время, сут;  $T$  – водопроницаемость м<sup>2</sup>/сут;  $\mu$  – гравитационная ёмкость;  $L$  – характерное расстояние от горного обрамления до границы с зоной выклинивания, м;  $\gamma$  – безразмерный параметр, определяемый по результатам моделирования рассматриваемой территории.

Разработан следующий алгоритм определения  $\gamma$ :

1. По результатам моделирования определяется отток из зоны формирования в моменты времени  $t_1=1$  год,  $t_2=3$  года,  $t_3=5$  лет,  $t_4=10$  лет,  $t_5=25$  лет.

2. Находится значение  $\gamma$  из следующего выражения:

$$\gamma = \begin{cases} \gamma_1, & t \leq t_4 \\ \gamma_1 + (\gamma_2 - \gamma_1) \cdot \frac{t - t_4}{t_5 - t_4}, & t_4 < t \leq t_5 \\ \gamma_2, & t > t_5 \end{cases} \quad (8)$$

3.  $\gamma_1$  находится минимизацией нижеследующей функции:

$$F(\gamma) = \sum_{i=1}^4 (Q(t_i) - \bar{Q}_i)^2, \quad (9)$$

где  $Q(t_i)$  задаётся выражением (7) в момент времени  $t_i$ , м<sup>3</sup>/сут;  $\bar{Q}_i$  – отток подземных вод из зоны формирования в зону выклинивания в момент  $t_i$ . Минимум  $F(\gamma)$

определяется из условия  $\frac{dF}{d\gamma} = 0$ , которое преобразуется в уравнение:

$$\sum_{i=1}^4 t_i [Q(t_i) - \bar{Q}_i] (Q_n - Q_k) \exp(-\beta t_i) = 0 \quad (10)$$

4.  $\gamma_2$  определяется из условия:

$$Q_5 = Q_k + (Q_n - Q_k) \cdot \exp(-\beta_2 t_5), \quad (11)$$

$$\text{где } \beta_2 = \frac{\alpha}{L^2} \cdot \gamma_2, \text{ откуда } \gamma_2 = \frac{L^2}{\alpha t_5} \ln \frac{Q_n - Q_k}{Q_5 - Q_k}. \quad (12)$$

В качестве примера рассмотрено прогнозирование изменения оттока из зоны формирования, как один из вариантов реконструкции орошения западной части Чуйской впадины ( $Q_n=4,63$  м<sup>3</sup>/с,  $Q_k=1,68$  м<sup>3</sup>/с) (Р. Г. Литвак, Е. И. Немальцева 1990). Расчёты по этому алгоритму проведены на базе используемой геофильтрационной модели при следующих усреднённых параметрах:  $T = 2000$  м<sup>2</sup>/сут.;  $L = 12000$  м;  $\mu = 0,2$ . В этом случае величины  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  равны, соответственно, 2,175 и 1,320. Сопоставление кривых, полученных “прямым” геофильтрационным моделированием и с помощью формулы (8), приведено на рис. 2.

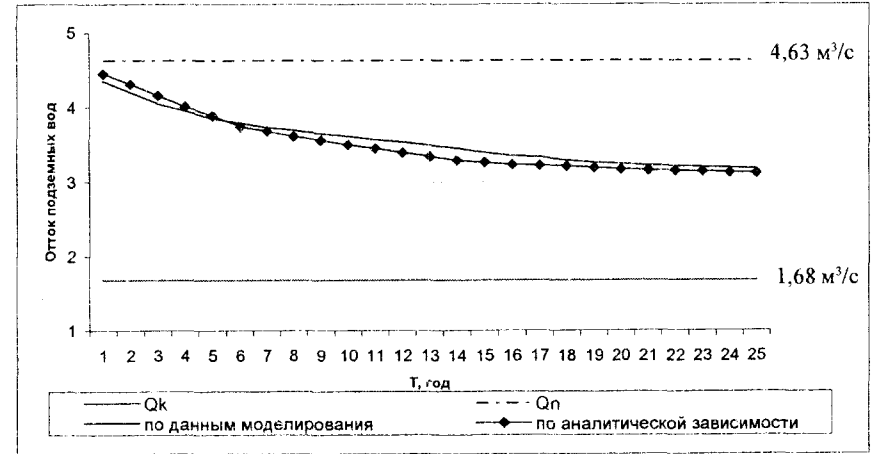


Рис. 2. Изменение оттока подземных вод из зоны формирования в зону выклинивания под влиянием реконструкции оросительных систем

В случае построения аналитической кривой для тех же условий, для которых проведено моделирование, её отклонение от эталонной пренебрежимо мало.

При создании геофильтрационной модели разработаны информационная база геофильтрационной модели и разработана диалоговая оболочка, позволяющая существенно снизить количество допускаемых ошибок при внесении изменений в информационное обеспечение модели и затраты времени для просмотра и анализа полученных результатов. Это важно, если учесть, что среднее количество входных данных для использованных геофильтрационных моделей – более десяти тысяч чисел. Формы вывода результатов моделирования таковы, что они могут использоваться в современных программных пакетах компьютерного картирования, таких как MapInfo и Vertical Mapper

**В третьей главе** обосновывается методами геофильтрационного моделирования возможность водоотбора подземных вод Кантской площади на водоснабжение и орошение в следующих объемах: для водоснабжения г. Кант 0,68 м<sup>3</sup>/с питьевой воды; для сельскохозяйственного водоснабжения и орошения предгорной части конусов выноса рек Иссык-Ата и Нооруз 0,8 м<sup>3</sup>/с.

Исследования проводились по трём направлениям:

1. Определение методами геофильтрационного моделирования параметров водоносного комплекса на основе обработки кустовых откачек, проведенных ККГГЭ;

2. Решение задачи по воспроизведению исходного стационарного распределения УГВ и инфильтрационного питания;

1. Прогнозирование изменений уровней и баланса подземных вод при различных схемах эксплуатации водозабора на геофильтрационной модели, использующей предлагаемые методические приёмы.

Для взаимной увязки фильтрационных параметров, распределения напоров и суммарного питания водоносного комплекса была построена стационарная двумерная геофильтрационная модель Кантской площади. Водоносный комплекс условно моделировался однородной толщиной с суммарной водопроницаемостью. Расчет баланса в каждом блоке проводился по следующему уравнению:

$$W=Q_N+Q_w+Q_s-Q_E+Q, \quad (13)$$

где  $W$  – суммарное питание водоносного комплекса равно:

$$\text{для зоны формирования: } W = F + Ag, \quad (14)$$

$$\text{для зоны выклинивания и транзита: } W=F + Ag - D - U, \quad (15)$$

где  $F$  – питание подземных вод за счет ирригации;  $Ag$  – инфильтрация осадков;  $D$  – выклинивание подземных вод в дренаж и лога;  $U$  – испарение грунтовых вод;  $Q_N$  – отток подземных вод по северной границе блока;  $Q_s$  – приток подземных вод по южной границе блока;  $Q_w$  – отток подземных вод по западной границе блока;  $Q_E$  – приток подземных вод по восточной границе блока;  $Q$  – водоотбор подземных вод.

В процессе расчетов корректировались водопроницаемость, уровни подземных вод и ирригационное питание. Ирригационное питание задавалось с учетом оросительных норм, КПД оросительных систем, расположения орошаемых площадей, русел рек и магистральных каналов. В зоне выклинивания учитывались испарение и выклинивание грунтовых вод в каждом модельном блоке. Водоотбор подземных вод в каждом блоке задавался суммарным расходом скважин, расположенных в этом блоке. Полученные в результате расчетов скорректированные значения уровней подземных вод, суммарной водопроницаемости по осям  $X$  и  $Y$  и суммарного питания, использовались при задании на модели исходного состояния и построения карты водопроницаемости и уровней подземных вод (при построении карты использовались компьютерные системы MapInfo и Vertical Mapper).

Кроме этих параметров, были получены следующие составляющие баланса подземных вод: подрусловый приток рек Нооруз и Иссык-Ата – 0,19 м<sup>3</sup>/с; оттоки подземных вод на восток – 0,15 м<sup>3</sup>/с, на запад – 0,75 м<sup>3</sup>/с, на север – 3,31 м<sup>3</sup>/с; поток подземных вод по границе зон формирования и выклинивания – 2,07 м<sup>3</sup>/с; питание подземных вод в зоне формирования за счет ирригации и осадков – 2,89 м<sup>3</sup>/с.

В результате разведочного моделирования был выбран вариант размещения эксплуатационных скважин вдоль восточного берега р. Нооруз, примерно в 1,5 км

от ее русла. Весь расход на водоснабжение в размере 0,68 м<sup>3</sup>/с задавался в одном блоке (на участке площадью 1,5 км<sup>2</sup>). Величина водоотбора в каждом модельном блоке задавалась как сумма расходов скважин, расположенных в данном блоке. Рассматривались следующие варианты эксплуатации водозаборов подземных вод:

1. А1- откачка производится из 1-го и 2-го водоносных горизонтов в интервале 30-285 м;

2. А2 –эксплуатируются все три водоносных горизонта 30-385 м.

3. В1- откачка производится из 1-го и 2-го водоносных горизонтов с суммарным водоотбором 2,57 м<sup>3</sup>/с (1,37 м<sup>3</sup>/с на водоснабжение, 1,2 м<sup>3</sup>/с на орошение).

Результаты моделирования выбранных вариантов:

**Вариант А1.** Эксплуатируются два водоносных горизонта. Понижения уровней подземных вод в блоке для водоснабжения составляют в первом водоносном горизонте 27,25 м, во втором 29,0 м, в третьем 13,68 м. УГВ понизились на 27,2 м. В блоках, где расположен водозабор на орошение, понижения в первом водоносном горизонте составили от 28,63 до 32,0 м.

В табл. 1 приведены прогнозные балансы подземных вод на 25-й год эксплуатации водозаборов, которые определяют основные источники формирования экс-

Таблица 1

Баланс подземных вод Кантской площади на 25 год эксплуатации водозаборов

Статьи баланса подземных вод	Исходное состояние	Прогнозные варианты водоотбора подземных вод, м <sup>3</sup> /с					
		А1		А2		В1	
		Δ	Прогноз	Δ	Прогноз	Δ	Прогноз
Подрусловый приток	0,19	-	0,19	-	0,19	-	0,19
Инфильтрация осадков	0,67	-0,21	0,46	-0,18	0,49	-0,27	0,40
Ирригационное питание	8,22	-	8,22	-	8,22	-	8,22
Приток с востока	0,14	-	0,14	-	0,14	-	0,14
<b>Итого приход:</b>	<b>9,22</b>	<b>-0,21</b>	<b>9,01</b>	<b>-0,18</b>	<b>9,04</b>	<b>-0,27</b>	<b>8,95</b>
Испарение	1,33	-0,61	0,72	-0,58	0,75	-0,79	0,54
Выклинивание	2,28	-0,67	1,61	-0,62	1,66	-1,27	1,01
Водоотбор	1,22	1,48	2,70	1,48	2,70	2,57	3,79
Отток на север	3,31	-0,05	3,26	-0,06	3,25	-0,19	3,12
Отток на запад	0,75	-	0,75	-	0,75	-	0,75
Отток на восток	0,15	-	0,15	-	0,15	-	0,15
<b>Итого расход:</b>	<b>9,04</b>	<b>0,15</b>	<b>9,19</b>	<b>0,22</b>	<b>9,26</b>	<b>0,32</b>	<b>9,3</b>
Сработка ёмкостных запасов	-	-0,28	-0,28	-0,27	-0,27	-0,52	-0,52
<b>Невязка баланса</b>	<b>0,18</b>	<b>-0,08</b>	<b>-0,10</b>	<b>-0,11</b>	<b>0,05</b>	<b>-0,07</b>	<b>0,11</b>

Примечание. Δ – изменение статей баланса.



платационных запасов. На всей площади моделирования основным источником формирования эксплуатационных запасов является инверсия испарения (41% прогнозного водоотбора), инверсия выклинивания (45%), сработка ёмкостных запасов (10%).

**Вариант А2.** Эксплуатируются три водоносных горизонта. Понижения уровней подземных вод в первом водоносном горизонте составляет 23,06 м, во втором 29,04 м, в третьем 27,16 м. Максимальное понижение уровней подземных вод в блоках с водозабором для орошения составило для первого водоносного горизонта 20,56 м, для второго –22,41 м, для третьего 24,22 м.

**Вариант В1.** Откачка из первых двух водоносных горизонтов. Максимальные понижения уровней подземных вод составили: в блоках на водоснабжение в первом водоносном горизонте 38,40 м, во втором 39,87 м, в третьем 21,47 м; УГВ – 38,4 м. В блоках на орошение от 32,8 м до 27,13 м.

Таким образом, во всех вариантах эксплуатации водозабора подземных вод получены понижения, не превышающие допустимые. Вариант А1 предусматривает большее количество скважин, но меньшую (чем для А2) их глубину. Наиболее рациональный вариант водозабора должен быть выбран технико-экономическим сопоставлением на стадии детальной разведки.

**В четвертой главе** приводятся результаты моделирования вариантов защиты от подтопления подземными водами территории западной части Чуйской впадины. Анализ данных режима УГВ показывает, что на значительной части мелиоративно-неблагополучных землях западной части Чуйской долины развиваются процессы подтопления. В подтопленном состоянии в настоящее время находятся многие орошаемые земли исследуемой территории. На территории Чуйской впадины от подтопления страдают около 100 населенных пунктов и северная часть г. Бишкека (С. Б. Андрусевич, 2005). Такое положение связано с выходом из строя дренажных систем, снижением технического уровня орошаемого земледелия, уменьшением водоотбора подземных вод в зоне формирования и природными факторами. Рациональный баланс подземных вод на землях подверженных подтоплению, может быть достигнут:

- снижением ирригационных потерь (например, при поливе научно-обоснованными поливными нормами и при увеличении КПД оросительных систем);
- эффективным дренажом;
- увеличением водозабора подземных вод на различные нужды;
- водохозяйственными мероприятиями на соседних территориях, снижающими боковой приток подземных вод к рассматриваемой территории.

Строительство и реконструкция дренажных и оросительных систем требует решения прогнозных задач и моделирования различных вариантов технических решений с оценкой влияния водохозяйственных мероприятий на режим и баланс подземных вод.

Уравнение баланса подземных вод для зоны выклинивания и транзита имеет вид:

$$W=P-O+F_0+Ag-U-D-Q, \quad (16)$$

где  $W$  – изменение запасов подземных вод за расчетный период;  $P$  – приток подземных вод по южной границе балансовой территории (граница зон выклинивания и транзита);  $O$  – отток подземных вод по северной границе балансового участка;  $F_0$  – питание грунтовых вод за счет фильтрационных потерь в оросительных системах;  $Ag$  – питание грунтовых вод за счет осадков;  $U$  – испарение грунтовых вод;  $D$  – выклинивание грунтовых вод;  $Q$  – водоотбор подземных вод скважинами.

За расчетный период принят отрезок времени 1990-1996 гг. Размерность элементов баланса  $m^3/c$ .

Варианты защиты от подтопления территории рассмотрены на примере пяти выделенных участков с самыми тяжелыми мелиоративными условиями и наиболее высоким стоянием УГВ. Участки выделены по результатам автоматизированного расчета испарения грунтовых вод на модели исходного состояния, где испарение грунтовых вод превышает 200 мм за вегетационный период. Испарение грунтовых вод выбрано в качестве основного обобщенного критерия мелиоративного неблагополучия, поскольку именно этот процесс приводит к выносу солей в почвенный слой. На этих участках значительная часть площадей с глубинами залегания УГВ от 0 до 1 м и минерализацией грунтовых вод выше 1 г/л.

Для понижения УГВ на геофильтрационной модели западной части Чуйской впадины рассмотрено два варианта:

1. Реконструкция старого горизонтального дренажа и дополнительное строительство новых дрен с целью повышения дренажного модуля на участках на 0,1 л/с (га), что составит суммарно по всем пяти участкам 3,80  $m^3/c$ .

2. Реконструкция оросительных систем с целью увеличения их КПД и уменьшения фильтрационных потерь, питающих грунтовые воды. При средневзвешенном по оросительным системам существующем КПД, равном 0,42, предполагается увеличить его до 0,65, при этом фильтрационные потери уменьшатся на 250 мм/год.

С помощью разработанных алгоритмов получены изменения составляющих баланса подземных вод в разрезе выделенных пяти участков. На 4-х участках (кроме участка № 3) можно добиться понижения УГВ и, соответственно, уменьшения испарения как в первом, так и во втором вариантах. Из-за особо тяжелых условий на участке № 3 (он расположен в зоне интенсивного выклинивания подземных вод) рассмотрен дополнительный третий вариант – реконструкция орошения по всем пяти участкам и дополнительный дренаж объемом 1,98  $m^3/c$  (270 мм/год) на участке № 3. Прогнозные балансы подземных вод по всем вариантам приводятся в табл. 2.

В результате проведенного моделирования можно сделать вывод, что на участке № 3, площадью 230 км<sup>2</sup>, необходимо увеличить дренажный сток на 1,98  $m^3/c$  (270 мм/год) и уменьшить ирригационные потери в оросительных системах на 1,78  $m^3/c$  (240 мм/год), при этом понижения УГВ составят 0,46-1,20 м, что позволит смягчить последствия подтопления и уменьшить испарение грунтовых вод с 370 до 60 мм/год.

Результаты проведенного моделирования могут оказать существенную помощь при проектировании дренажных мероприятий в конкретных населенных пунктах.

Таблица 2

Баланс подземных вод на исходное состояние и через 25 лет после реконструкции орошения на участке № 3 и дополнительного дренирования участков западной части Чуйской впадины

Статьи баланса подземных вод	Исходное состояние	Прогнозный баланс, м <sup>3</sup> /с					
		Реконструкция орошения на участках 1-5		Увеличение дренажного стока на участках 1-5		Реконструкция орошения и новый дренаж на участке 3	
		Δ	Прогноз	Δ	Прогноз	Δ	Прогноз
Приток с юга и по границам	4,63	0	4,63	0,10	4,73	0	4,63
Инфильтрация осадков	1,41	-0,30	1,11	-0,37	1,04	-0,48	0,93
Ирригационное питание	8,52	-3,23	5,29	0	8,52	-3,23	5,29
Итого приход	14,56	-3,53	11,03	-0,27	14,29	-3,71	10,85
Испарение	7,28	-2,75	4,53	-3,26	4,02	-4,06	3,22
Выклинивание исходное	3,62	-	3,34	-0,38	3,24	-0,64	2,98
добавленное	0	0,28	0	3,80	3,80	1,98	1,98
Водоотбор	2,97	0	2,97	0	2,97	0	2,97
Отток на север	0,62	0	0,62	0	0,62	0	0,62
Итого расход:	14,49	-3,03	11,46	0,16	14,65	3,32	11,17
Невязка баланса	0,07	-0,50	-0,43	-0,32	-0,25	0,39	-0,32

Примечание. Δ – изменение статей баланса

тах и орошаемых территориях западной части Чуйской впадины. Эти исследования уже используются в проектах понижения УГВ сел Вознесенка и Полтавка.

## Выводы и практические рекомендации

1. Проведена модификация комплекса программ, предназначенного для моделирования фильтрации подземных вод в сложных природных и хозяйственных условиях межгорных впадин. В рамках модификации разработаны и реализованы алгоритмы расчета составляющих баланса подземных вод на каждом временном шаге геофильтрационной модели. Учитываются нелинейные зависимости составляющих вертикального водообмена от глубины залегания уровней грунтовых вод.

2. Разработана структура базы входных и выходных гидрогеологических и водохозяйственных данных, которые служат информационным обеспечением используемых моделей фильтрации подземных вод. Создана диалоговая оболочка модели, позволяющая существенно снизить количество допускаемых ошибок при внесении изменений в информационное обеспечение модели и затраты вре-

мени для просмотра и анализа полученных результатов. Оболочка обеспечивает форму вывода результатов моделирования, приемлемую для дальнейшего использования в современных программных пакетах компьютерного картирования, таких, как MapInfo и Vertical Mapper.

3. Предложена методика учета влияния водохозяйственных мероприятий в предгорной зоне на режим и баланс подземных вод нижележащих территорий с помощью задания нестационарных граничных условий на границе зон формирования и выклинивания подземных вод. Предложенная формула для расчёта изменений оттока из зоны формирования может быть эффективно использована в качестве самостоятельной зависимости для прогнозных расчётов в Чуйской впадине и на объектах – аналогах.

4. Методами геофильтрационного моделирования выполнен прогноз изменения уровней и балансов подземных вод при различных схемах эксплуатации подземных вод Кантской площади. Прогнозные расчёты показали, что заявленный расход в размере 1,48 м<sup>3</sup>/с может быть получен при допустимых понижениях уровней подземных вод. Прогноз изменения уровней и балансов подземных вод Кантской площади, является составной частью работы ККГГЭ “Предварительная разведка подземных вод Кантской площади”, что подтверждается соответствующим актом внедрения.

5. Рассмотрены варианты защиты от подтопления подземными водами западной части Чуйской впадины. Выделено 5 участков с самыми тяжелыми мелиоративными условиями и наиболее высоким стоянием уровней грунтовых вод. Результаты проведенного моделирования показали, что для участков, расположенных в зоне транзита, достаточно уменьшить среднее площадное питание грунтовых вод (или увеличить дренажный сток) на 270 – 300 мм/год. В этом случае уровни грунтовых вод понизятся на 0,5-1,0 м. Для участка, расположенного в зоне выклинивания, соответствующее уменьшение ирригационных потерь или увеличение дренажного стока должно быть равным 500–600 мм/год.

6. Результаты проведенных исследований рекомендуется использовать при проектировании дренажных мероприятий в конкретных населенных пунктах и для конкретных орошаемых массивов Чуйской впадины. В настоящее время они уже используются в проектах понижения УГВ сел Вознесенка и Полтавка.

## Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Литвак Р.Г., Немальцева Е.И., Зубченко С.А. Представление взаимосвязи грунтовых вод с поверхностными и с зоной аэрации на геофильтрационных моделях Чуйской впадины. //В сб. “Вопросы технологии и автоматизации водораспределения”. ВНИИКАМС, – Фрунзе: 1985, -с. 30-35.

2. Немальцева Е.И. Применение геофильтрационного моделирования для оценки изменения оттока подземных вод из предгорной зоны. //В сб. Совершенствование проектирования и эксплуатации гидромелиоративных систем. Фрунзе. – 1986, -с. 40-41.

3. Каплинский М.И., Немальцева Е.И. Использование постоянно действующих геофильтрационных моделей в информационно – советующих системах проектиро-

вания водохозяйственных объектов. //Гез. докл. всесоюзной научно-технической конференции “Совершенствование автоматизации оросительных систем”, 23-25 июня 1987 г., г. Херсон, М. 1987, -с. 33-34.

4. Литвак Р.Г., **Немальцева Е.И.**, Бурмин С.Д. Обоснование применимости аналитических расчетов для оценки изменений оттока подземных вод из зоны формирования в зону выклинивания. //В сб. “Технология, механизация и автоматизация орошения”. ВНИИКАМС, – Фрунзе: 1987, -с. 29-35.

5. Литвак Р.Г., **Немальцева Е.И.** Получение аналитической зависимости изменения оттока от изменения питания подземных вод в зоне формирования межгорной впадины с помощью геофильтрационной модели. //В сб. “Вопросы разработки и эксплуатации автоматизированных гидромелиоративных объектов”, ВНИИКАМС, – Фрунзе; 1990, -с. 57-60.

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

7. Литвак Р.Г., **Немальцева Е.И.**, Поповой Е.Г. Борьба с опустыниванием орошаемых земель, установление рациональных водных балансов подземных вод в условиях межгорных впадин Средней Азии. //Сб. Национальный семинар по борьбе с опустыниванием земель в Кыргызстане. – Бишкек: 1997.-с 74-80.

8. **Немальцева Е.И.** Обоснование методами геофильтрационного моделирования возможности водоотбора подземных вод Кантской площади. //Труды Кыргызского института минерального сырья. – Бишкек: 2000. – с. 133-141.

9. Groundwater vulnerability and urban activity assessment: the Bishkek, Kyrgyzstan case-stude. // Keyworth, Nottingham, British Geological Survey, 2000. -р. 36. (Morris B.L, Litvak R.G., **Nemaltseva E.I.** and others).

10. **Немальцева Е.И.** Обоснование схем улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель западной части Чуйской долины на основе геофильтрационного моделирования. //В сб. науч трудов: “Проблемы реформирования и стратегия аграрной науки на рубеже 21 века”. Кыргызская аграрная академия, – Бишкек: 2001, – с. 102-106.

11. Литвак Р.Г., **Немальцева Е.И.**, Поддубная И.В., Сахвасва Е.П. Система автоматизированной оценки ресурсов поверхностных и подземных вод Кыргызской Республики. // Тез. докл VI Всероссийского гидрологического съезда, Секция Водный баланс, ресурсы поверхностных и подземных вод, Санкт-Петербург. Гидрометеоздат, 2004, с. 51-52.

12. Litvak R.G., Morris B.L. and **Nemaltseva E.I.** Problems of under groundwater protection in intermountain valleys and possibilities for solving these ones. Advanced Research Workshop. Groundwater and Ecosystems. 5-7 September 2005. Canakale, Turkey, pp.15-16.

13. Assessing the extent of induced leakage to an urban aquifer using environmental tracers: an example from Bishkek, capital of Kyrgyzstan, Central Asia. Hydrogeology Journal. Springer. Volume 14. Number 1-2 January 2006, pp. 225-243. (Morris B.L, Darling W.G., Litvak R.G., **Nemaltseva E.I.**, and others)

## РЕЗЮМЕ

**Немальцева Екатерина Ивановна**

Жер астындагы суулардын запастарын баалоо жана аймактарды суу каптоодон коргоо үчүн алардын балансын түзүүдө суу чыпкалоо үлгүсүн түзүүнү колдонуу (Чүй ойдуңунун мисалында)

техника илимдеринин кандидаты илимий даражасын алууга талапкерликке  
25.00.07 – Гидрогеология  
25.00.27 – Кургактык гидрологиясы, суу ресурстары, гидрохимия

**Негизги сөздөр:** жер астындагы суулар, суу каптоо, запастарды баалоо, суу чыпкалоо үлгүсүн түзүү, жер астындагы суулардын баланстары, тоо арасындагы Чүй ойдуңу.

**Изилдөө объектиси:** тоо арасындагы Чүй ойдуңунун чейректик катмарларын жер астындагы сууларды, суу чыпкалоо үлгүсүн түзүү негизинде жер астындагы суулардын балансын түзүүчүлөрдү болжолдоо методикасы.

**Иштин максаты:** тоо арасындагы ойдуңдардын шартында суу чарба иштеринин таасири астында жер астындагы суулардын өзгөрүшүн болжолдоонун методикалык ыкмаларын иштеп чыгуу жана модификациялоо. Сунуш кылынган методикалык ыкмалар жер астындагы суулардын жер үстүндөгү суулар менен жана аэрация аймагы менен вертикалдуу суу алмашууну түзүүчүлөрдү өзүнчө болжолдоону камсыз кылышы керек, мында аймактарды жер астындагы суулардын капташынан коргоо чаралары негизделет жана жер астындагы суулардын запастарына баа берилет.

**Изилдөө методу:** жер астындагы сууларды стационардык эмес чыпкалоонун математикалык үлгүсүн түзүү.

**Алынган жыйынтыктар жана алардын жаңылыгы:** Биринчи жолу Кыргызстандын тоо арасындагы ойдуңдарындагы суу чарбасынын татаал шарттары үчүн программалык модулдар түрүндө суу чыпкалоо үлгүсүнүн ар бир мезгилдик кадамында (алардын жер астындагы суулардын денгээлинин жайгашуу тереңдигинен линиялык эмес көз карандылыгын эсепке алуу менен) жер астындагы суулардын балансын түзүүчүлөрдү эсептөө алгоритми иштеп чыгарылды жана ишке ашырылды.

Суу чыпкалоо үлгүсүн түзүүнүн негизинде жер астындагы суулар пайда болгон аймакта алардын азыктануу өзгөрүшүнүн таасири астында төмөндө орун алган жер астындагы суулардын балансынын өзгөрүшүнүн “кечигүү” убактысына баа берүү үчүн анализдик көз карандылык алынды.

**Колдонуу тармагы:** дренаж системаларын жана суу чарба иштерин долбоорлоо, тоо арасындагы ойдуңдардагы суу ресурстарын баалоо.

## РЕЗЮМЕ

Немальцева Екатерина Ивановна

Использование геофильтрационного моделирования при составлении балансов подземных вод для оценки их запасов и защиты территорий от подтопления (на примере Чуйской впадины).

на соискание ученой степени кандидата технических наук  
25.00.07. – Гидрогеология  
25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

**Ключевые слова:** грунтовые воды, подтопление, оценка запасов, геофильтрационное моделирование, балансы подземных вод, Чуйская межгорная впадина.

**Объект исследований:** подземные воды четвертичных отложений Чуйской межгорной впадины, методика прогнозирования составляющих баланса подземных вод на основе геофильтрационного моделирования.

**Цель работы:** разработка и модификация методических приёмов прогнозирования изменений баланса подземных вод под влиянием водохозяйственных мероприятий в условиях межгорных впадин. Предлагаемые методические приёмы должны обеспечивать раздельное прогнозирование составляющих вертикального водообмена грунтовых вод с поверхностными и с зоной аэрации при обосновании мер защиты территорий от подтопления грунтовыми водами и при оценке запасов подземных вод.

**Метод исследования:** математическое моделирование нестационарной фильтрации подземных вод.

**Полученные результаты и их новизна:** впервые для сложных водохозяйственных условий межгорных впадин Кыргызстана разработаны и реализованы в виде программных модулей алгоритмы расчета составляющих баланса подземных вод на каждом временном шаге геофильтрационной модели (с учетом их нелинейной зависимости от глубины залегания УГВ).

На основе геофильтрационного моделирования получена аналитическая зависимость для оценки времени “запаздывания” изменений баланса подземных вод нижележащей территории под влиянием изменений питания подземных вод в зоне формирования.

**Область применения:** проектирование дренажных систем и водохозяйственных мероприятий; оценка водных ресурсов в межгорных впадинах.



## RESUME

Nemaltseva Ekaterina Ivanovna.

Modeling approach to ground water balances construction for assessment of the underground water deposits and for flood protection (using Chu Valley as an example).

**Key words:** ground water, flood, assessment of deposits, ground water modeling, underground water balances, intermountain trough.

**Subject of inquiry:** ground water of the Chu Valley overburden, procedures of the ground water balances forecasting on the base of modeling.

**Aim of work:** creation and modification procedures of the ground water balances forecasting under influence of water economy measures in condition of the intermountain troughs. Suggested procedures have to provide for separate forecasting of the balance elements of vertical interaction between ground waters, surface waters and unsaturated zone. It is necessary for substantiation of the protected measures against ground water floods and for assessment of underground water deposits.

**Method of investigation:** mathematical modeling of nonsteady ground water filtration.

**Obtained results and their novelty:** Algorithms of modeling of the ground water balance elements for every “model time step” was created and realized in the form of the computer programs (with taking into account nonlinear connections between ground water balance elements and depth of the ground water levels). It was done first for complicated water economy conditions of the Kyrgyz intermountain troughs.

Analytic dependence for assessment of the response lag between recharge changing in piedmont and changing in subsurface water balances for underlying territory was created on the base of the ground water modeling.

**Range of application:** design of the drain systems and water economy measures, assessment of water resources in intermountain troughs.

