

На правах рукописи

**Ли Цзюньюань**

**Комплексная оценка эколого-гидрогеологического состояния орошаемой  
территории в пределах провинции Шэньси (северо-запад КНР)**

Специальность-25.00.07 «Гидрогеология»

Автореферат

Диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата  
геолого-минералогических наук

Москва, 2013

Диссертационная работа выполнена в Российском государственном геологоразведочном университете им. Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ)

Научные руководители:

доктор геолого-минералогических наук,  
профессор кафедры гидрогеологии  
(МГРИ-РГГРУ)

Лисенков Александр Борисович

Академик КНР,  
профессор (Чанъаньский университет)

Ли Пэйчен

Официальные оппоненты:

доктор геолого – минералогических наук  
**Хаустов Александр Петрович**, Российский университет дружбы народов, профессор кафедры прикладной экологии,  
кандидат геолого-минералогических наук  
**Голицын Михаил Сергеевич**, ФГУП «ВСЕГИНГЕО», старший научный сотрудник

Ведущая организация:

ОАО «Зарубежгеология»

Защита диссертации состоится «25» июня 2013г. В 15<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д212.121.01 при Российском государственном геологоразведочном университете им. Серго Орджоникидзе(МГРИ-РГГРУ) по адресу: 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.23

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ). Автореферат диссертации размещен на сайте Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ)([www.msgra.ru](http://www.msgra.ru)).

Автореферат разослан « 24 » мая 2013г.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просим направлять по адресу: 117997, ГСП-7, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.23, Российский государственный геологоразведочный университет, ученому секретарю Диссертационного совета Д.212.121.01.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат геолого-минералогических наук, доцент

О.Е. Вязкова

**Актуальность проблемы.** Проблема загрязнения подземных вод, оценка источников и условий их загрязнения весьма актуальна для территории провинции Шэньси. В пределах провинции Шэньси располагаются такие крупные города как г. Сиань с населением около восьми млн. человек и ряд небольших городов районного значения с населением в несколько сотен тысяч человек (г. Ян, г. Юань, г. Ли, г. Лин, г. Тон). Хозяйственно-бытовые стоки, общим объемом несколько тысяч м<sup>3</sup>/сут после очистных сооружений поступают в местные реки и усложняет сооружение и эксплуатацию инфильтрационных водозаборов. Для хозяйственно-питьевого водоснабжения крупных городов используются подземные воды из предгорной и горной частей региона (хребет Циньлинь), транспортировка которых существенно удорожает систему водоснабжения.

Отдельно следует рассматривать сельскохозяйственное загрязнение подземных вод — один из наиболее мощных техногенных факторов, отрицательно влияющий на экологическое состояние не только локальных участков гидрогеологических структур, но и обширных регионов. Исследование проблемы до последнего времени находились на стадии накопления эмпирического материала (Liu XH, Li L, Wang Z, 2011; Li, M.L., 1998; Li, Y.J., Ma, X.Y., and Kang, S.Z., 1999; Liu, Y.; Zhu, H., 2011). Преобладающая часть публикаций посвящена констатации фактических данных о содержании сельскохозяйственных загрязняющих веществ в водах. В большинстве работ описаны те или иные геохимико-экологические аспекты последствий загрязнения применительно к локальным зонам водоносных систем. Однако, основываясь на принципиально новых научных положениях, полученных в результате изучения геохимических и экологических последствий техногенных изменений химического состава подземных вод (Крайнов С.Р., Закутин В.П., Соломин Г.А., 1989, 1990, 1991), можно выделить наиболее распространенные типы загрязненных вод сельскохозяйственных регионов, смоделировать и спрогнозировать их качество, определить предельно допустимые загрязняющие нагрузки ( $\text{NO}_3^-$ , Cr, Cu, Hg, As) на подземные воды и, в итоге, управлять качеством подземных вод.

В настоящей работе с позиции системного подхода выполнена комплексная оценка условий загрязнения подземных вод в пределах орошаемой территории провинции Шэньси наиболее распространенными компонентами-загрязнителями: нитраты, хром, медь, ртуть, мышьяк. Указанные компоненты характеризуются различными источниками поступления в подземные воды, условиями их накопления и миграции. Системный подход к проблеме

предполагает максимальный учет в моделях, характеризующих состояние системы, факторов, потенциально оказывающих влияние на функцию цели (в данном случае - загрязнение подземных вод). В качестве таких факторов рассматриваются подсистемы, входящие в структуру эколого-гидрогеологической системы (ЭГГС) орошаемой территории провинции Шэньси: ландшафтная, экологическая, техногенная. Таким образом, изучаемая ЭГГС рассматривается как открытая, динамическая и находящаяся в условиях трансформации под воздействием техногенной нагрузки. Каждый из перечисленных выше факторов описывается определенным перечнем показателей и ЭГГС приобретает весьма сложную структуру, изучение которой требует применения соответствующего математического аппарата.

Изучению сложных ЭГГС посвящены работы И.К. Гавич (1982 г., 1983 г., 2006 г.), А.Б. Лисенкова (1992 г., 1994 г., 1995 г., 2003 г., 2006 г.), Ли Пэйчен (1984 г., 1992 г., 2011 г.).

Методология, разработанная указанными авторами, положена в основу комплексной оценки эколого-гидрогеологического состояния орошаемой территории провинции Шэньси.

Орошаемая территория провинции Шэньси в пределах которой выращиваются такие сельскохозяйственные культуры как кукуруза, пшеница, плодовые культуры, является продовольственной базой северо-западных регионов КНР и комплексная оценка ее эколого-гидрогеологического состояния является важной и актуальной задачей.

**Цель и задачи исследований.** Целью диссертации является изучение и комплексная оценка эколого-гидрогеологического состояния ЭГГС орошаемой территории провинции Шэньси, расположенной на северо-западе КНР.

Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

- Определение состава и структуры ЭГГС орошаемой территории, провинции Шэньси.
- Оценка и характеристика подсистем, входящих в структуру ЭГГС (атмосферные процессы и климат, ландшафтные условия, поверхностные и подземные воды, техногенная нагрузка).
- Выбор показателей для описания состояния подсистем, входящих в структуру ЭГГС.
- Разработка алгоритма изучения и комплексной оценки эколого-гидрогеологических условий в пределах ЭГГС.
- Моделирование состояния ЭГГС орошаемой территории для оценки загрязнения подземных вод нитратами, ионами мышьяка, меди, ртути, хрома с использованием корреляционного, факторного и информационного видов анализа.
- Комплексный анализ результатов моделирования.

**Объект и методика исследований.** В качестве района исследования выбрана орошаемая территория провинции Шэньси, которая находится в полуаридном регионе, т.е. уязвима с позиции водообеспечения и экологических позиций (Li, M.L., 1998; Li, Y.J., Ma, X.Y., Kang, S.Z., 1999). Орошаемая территория провинции Шэньси обеспечивает развитие сельского хозяйства и продовольственной безопасности северо-запада КНР, поэтому изучение состояния этого региона имеет прикладное и теоретическое значение.

В процессе исследования использованы данные по 69 скважинам, пробуренным в пределах орошаемого района, проанализированы результаты более 200 химических анализов подземных и поверхностных вод, более 150 химических анализов почвы, изучался режим орошения сельскохозяйственных культур и агрометеорологические условия освоения территории. В процессе исследований анализировались температура воздуха, количество осадков, испарение и среднегодовой расход реки Тинь. Для анализа влияния переноса воздушных масс использованы метеорологические базы данных Национальных центров прогнозов окружающей среды Департамента энергии США. С целью анализа пространственно-временной эволюции растительного покрова, а также изучения его реакции на изменение климата использовались данные о динамике вегетационного индекса NDVI в период с 1982г. по 2006г.

В настоящей диссертационной работе для оценки состояния ЭГГС, были применены корреляционный, факторный и информационный анализы. Для обработки фондовых материалов автором были использованы современные программы Arcgis, Microsoft(Excel), модель HYSPLIT4 (модель реконструкции обратных траекторий), программы метода «Главных факторов», информационного анализа.

#### **Научная новизна:**

1. В работе впервые показана необходимость системного подхода к изучению и прогнозу состояния сложной эколого-гидрогеологической системы орошаемой территории провинции Шэньси.

2. Впервые для территории КНР создана пространственная гидрогеохимическая модель, позволяющая оценить источники поступления в подземные воды орошаемой территории токсичных компонентов-загрязнителей (As, NO<sub>3</sub>, Cu, Hg, Cr).

3. Созданная модель позволяет количественно оценить диапазоны влияния отдельных показателей, характеризующих техногенную нагрузку на ЭГГС орошаемой территории и прогнозировать загрязнение подземных вод в пределах орошаемых территорий с

аналогичными природно-климатическими и геолого-гидрогеологическими условиями.

4. Впервые для изучаемого района выполнено картирование участков потенциально-опасных с эколого-гидрогеологических позиций.

#### **Защищаемые положения:**

1. Основой для изучения и комплексной оценки эколого-гидрогеологического состояния орошаемой территории провинции Шэньси является ее концептуальная модель - ЭГГС, которая представляет собой открытую динамическую систему, состоящую из ландшафтных подсистем, и компонентов экосистем (атмосфера, почвы, поверхностные и грунтовые воды). ЭГГС находится в состоянии трансформации под воздействием техногенной нагрузки (орошение, дренаж, удобрения, выращиваемые сельскохозяйственные культуры). Изучение такой системы выполнено с использованием системного подхода, алгоритм которого предложен автором работы.

2. Главным источником поступления в подземные воды таких компонентов, как Cu, Cr, Hg, As, нитраты являются удобрения, используемые в районе для повышения урожайности. Мышьяк поступает в грунтовые воды из почвы, где он накапливается также вследствие использования комплексных удобрений, в которые входит в виде микродобавок. Определенную роль в накоплении компонентов-загрязнителей в грунтовых водах играет режим орошения территории, которой определяет их вынос в грунтовый поток в результате промывки почвы или наоборот разбавление грунтовых вод.

3. Потенциально опасными с эколого-гидрогеологических позиций и наиболее опасными в эколого-гидрогеологическом отношении являются участки, где выделенные главные факторы имеют максимальное влияние. (район 2 с районным центром г. Юань, район 3 с районным центром г. Ли и район 5 с районным центром в г. Тон ).

4. Диапазоны значений факторов, оказывающих влияние на условия переноса и накопления компонентов-загрязнителей в подземных водах следующие: 1) количество вносимых удобрений (для Cu - менее 0,7 т/га, для Cr - диапазон 0,7-1,0 т/га, для нитратов - 1,0-1,3 т/га); 2) расход воды на орошение (для As и Cr - менее 190 м<sup>3</sup>/га ). На перенос меди дополнительно оказывает влияние наличие органики в почве (менее 0,6%) и её кислотно-щелочные условия.

**Практическая значимость работы.** Результаты исследований автора позволили установить источники поступления в подземные воды таких токсичных компонентов как

мышьяк (As), медь (Cu), хром (Cr), ртуть (Hg), оценить нитратное загрязнение подземных вод. На основе факторного анализа установлены территории опасные с позиции накопления в подземных водах As, Cu, Cr, Hg, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Выявлен экологически опасные районы, где присутствуют факторы, характеризующие условия накопления в подземных водах и в почвах указанных компонентов.

Для предотвращения накопления в подземных водах As, Cu, Cr предлагается сократить количество вносимых удобрений до 300 кг/га, изменить тип удобрений, изменить условия орошения сельскохозяйственных культур, сократить потери на фильтрацию.

Составленные пространственные информационные модели могут служить основой для прогноза загрязнения подземных вод в пределах аналогичных орошаемых массивов КНР.

**Апробация работы.** Отдельные вопросы и основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международной конференции «Ломоносов» (Москва, МГУ, 2013), Международной конференции «Молодые – наукам о земле» (Москва, МГРИ-РГГРУ, 2011, 2012гг.), Международной конференции «Окружающая среда и человек: друзья или враги?» (Пушино, исследовательский центр Биоресурсы и экология, 2011г.), Международной конференции водных ресурсов (КНР, Чанъяньский университет, 2011г.). По теме работы опубликовано 11 печатных работ, из них 6-ть журнальные статьи: 1 работа в изданиях, рекомендованных ВАК, 1 работа в изданиях, рекомендованных EI (американский журнал «Водные ресурсы»), 4 работы в изданиях, рекомендованных CSCD (китайские ведущие журналы: «Экология и природные ресурсы», «Наука и сельское хозяйство», «Защита водных ресурсов», «Наука об инженерных системах»).

Работа выполнена при финансовой поддержке международного проекта «111» — научно новаторская база по привлечению специалистов по экогидрологии и безопасному использованию водных ресурсов в засушливых и полузасушливых районах (КНР).

**Благодарности.** Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю профессору кафедры гидрогеологии МГРИ-РГГРУ, заслуженному деятелю науки РФ, д.г.-м.н. А.Б. Лисенкову за внимание, ценные советы и помощь при выполнении работы, академику КНР Ли Пэйчен и заведующему кафедрой гидрогеологии МГРИ-РГГРУ, лауреату Государственной премии СССР, заслуженному деятелю науки РФ, д.г.-м.н., профессору В.М. Швецу, профессору, д.г.-м.н. В.А. Грабовникову и всем сотрудникам кафедры гидрогеологии за поддержку. Автор крайне признателен к.г.-м.н. О.А. Лиманцевой за помощь

при выполнении работы. Автор выражает благодарность организаторам международного проекта 111 за предоставленные базы данных для модельных расчетов и сотрудникам института «Вода и развитие» Чаньяньского университета.

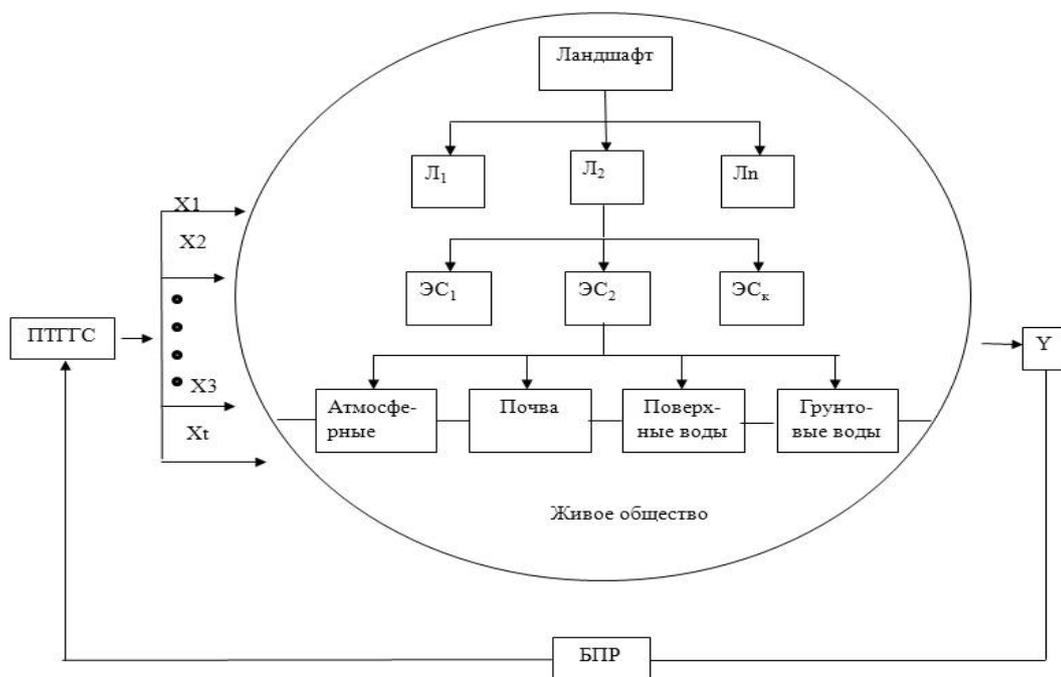
**Публикации.** По теме работы опубликовано 11 печатных работ, в том числе 6-ть журнальных статей: 1 работа в изданиях, рекомендованных ВАК, 1 работа в журнале «Водные ресурсы»(США), 4 работы в ведущих китайских журналах.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы. Работа содержит 52 таблиц и 59 рисунков. Объем работы 131 страниц. Список литературы включает 117 наименований.

### Содержание работы

#### Глава 1. Эколого-гидрогеологическая система орошаемой территории провинции Шэньси, как объект изучения для оценки условий загрязнения подземных вод в ее пределах

На основе понятия «эколого-гидрогеологическая система-ЭГГС» в работе выполнено изучение состояния орошаемой территории провинции Шэньси. Концептуальная модель изучаемой ЭГГС показана на рисунке 1.

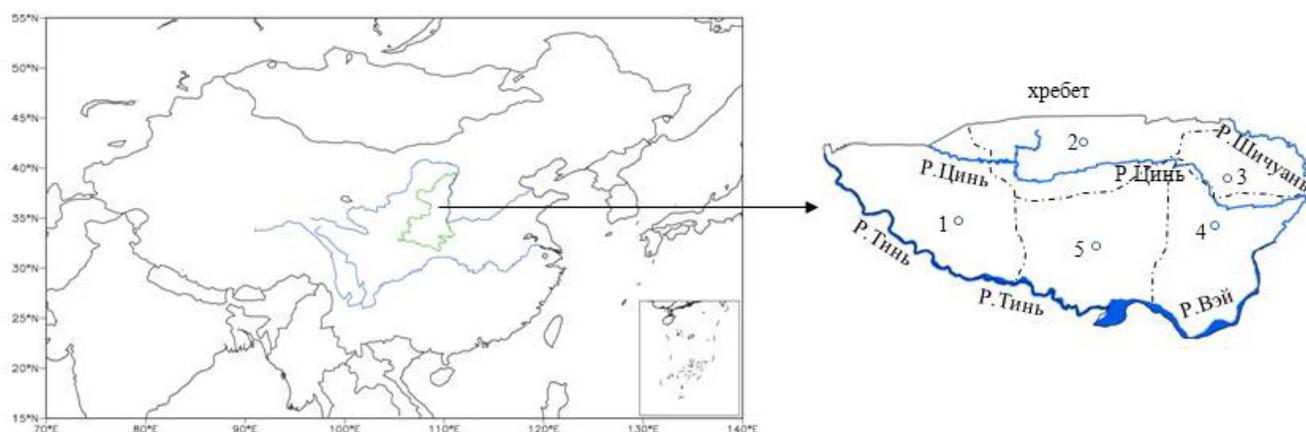


ПТГГС - природно-техногенная гидрогеологическая система;  $L_{1...n}$ —ландшафтно-климатическая система;  $ES_{1...n}$ —экологическая система; БПР- решение управления;  $X_1$ —исходные показатели, описывающие состояния подсистем, входящих в структуру ЭГГС (ЛКС, ЭС, ГГС, ТГС); Y-реакция ЭГГС на техногенное воздействие

Рис.1. Концептуальная схема ЭГГС

Поскольку в состав системы входят такие подсистемы, как ландшафтно-климатическая (ЛКС), экологическая (ЭС), гидрогеологическая (ГГС) и техногенная (ТГС), в качестве исходных выбраны показатели, характеризующие их состояния. В данной работе ЛКС характеризуется геоморфологическими условиями, которые учтены при моделировании. Экосистемные показатели характеризуются: влиянием атмосферных процессов (осадки, ветровые потоки, испарение, температура воздуха), физико-химическими свойствами почвы, поверхностных вод. Гидрогеологическая подсистема описывается с помощью таких показателей как положение уровней подземных вод, направление движения фильтрационного потока, химический состав грунтовых вод. Техногенная нагрузка характеризуется количеством и составом вносимых удобрений и ядохимикатов, составом выращиваемых сельскохозяйственных культур, расходом воды на орошение, плотностью дренажно-коллекторной сети.

Орошаемая территория располагается на северо-западе КНР (рис. 2).



**Рис.2. Схема расположения района исследования (1-5 административный район на орошаемой территории)**

Территория имеет четкие географические границы, определенные положением рек бассейна р. Хуанхэ. С севера орошаемый район ограничен рекой Цинь, с востока его ограничивает р. Вэй и ее приток р. Шюань. Южной и западной границами служат реки Вэй и ее главный приток р. Тинь (см. рис.2.), северной границей является горный хребет.

Загрязнение грунтовых вод сельскохозяйственными химикатами является серьезной и сложной проблемой. Ее рациональное решение состоит в создании оптимальных условий для ведения сельского хозяйства, которые обеспечили бы защиту здоровья общества и окружающей среды и при этом поддерживали бы эффективность сельскохозяйственного

освоения территории. На этой основе формируется структура данной диссертации с целью оценки реальной угрозы, связанной с сельскохозяйственными загрязнителями подземных вод и формированием решений по управлению и практическому руководству для достижения баланса между здоровьем общества и окружающей средой.

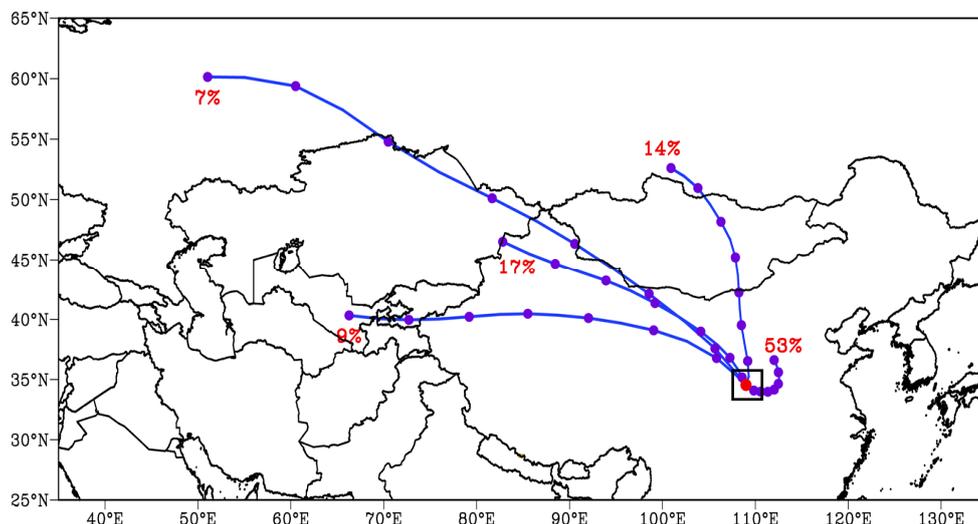
## **2. Характеристика подсистем, входящих в структуру ЭГТС**

### **2.1 Атмосферные процессы и климат**

В данной работе мы опирались на результаты, полученные по метеостанции, которая находится вблизи района орошения. В процессе исследований анализировались температура воздуха, количества осадков, испарение и среднегодовой расход реки Тинь. Географо-климатические условия орошаемого района характеризуется синхронизацией осадков и температуры. Кроме того, целесообразно охарактеризовать «розу ветров» в пределах орошаемой территории. Для анализа использованы метеорологические базы данных NCEP/DOE (две из них – продукты анализа Национальных центров прогнозов окружающей среды Департамента энергии США – NCEP/DOE) и в результате получен характер распределения атмосферной циркуляции в северо-западной части КНР, который необходим для оценки влияния ветра на миграцию загрязненных веществ в атмосфере. Анализировалось распределение ветровых потоков на высоте 10 м от поверхности земли .

Выявлено, что в январе, феврале, ноябре и декабре направление ветровых потоков северное, то есть зимний муссон определяет климат в пределах орошаемой территории, как сухой и холодный. В марте и мае поле ветра ориентировано в южном направлении. С июня по сентябрь поле ветра определяется летним муссоном. Климат летом теплый и сырой. В октябре летний муссон распадается и в ноябре преобладают зимние муссоны.

Для анализа влияния атмосферных процессов, обеспечивающих перенос воздушных масс и загрязнителей с ветровыми потоками из удаленных регионов использовался метод реконструкции обратных траекторий, реализованный в модели HYSPLIT 4 (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory). Для построения траекторий была выбрана высота 100 м. В результате расчета получилось 1464 траекторий воздушного потока. С помощью кластерного анализа объединили аналитические траектории и получили 5 траекторий воздушного потока, определяющих перенос воздушных масс и их влияние на орошаемую территорию.



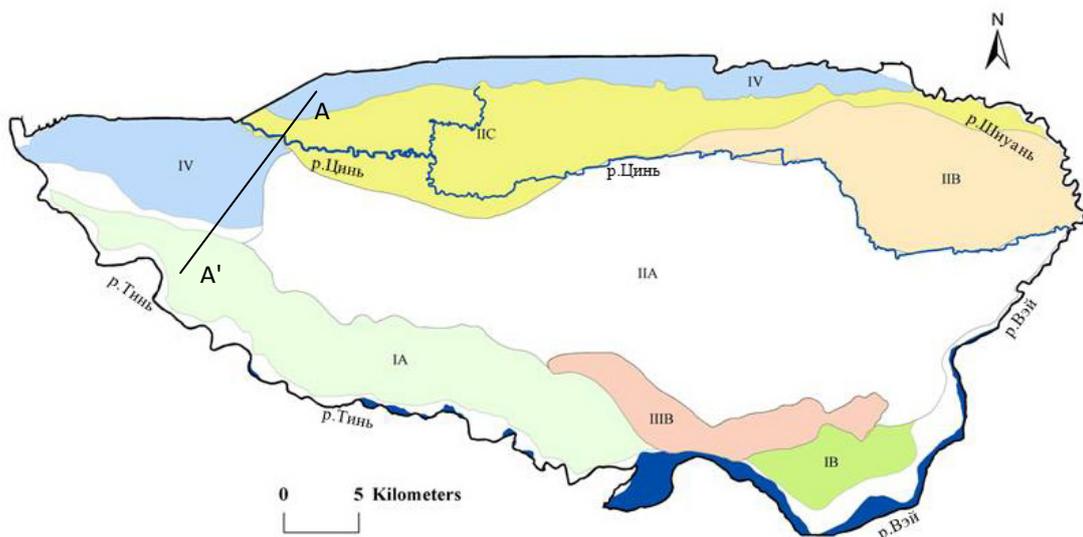
**Рис. 3. Обратные траектории переноса воздушных масс (в блоке орошаемая территория провинция Шэньси 34.55°N, 109°E)**

На рисунке 3 показано, что на орошаемую территорию провинции Шэньси влияют воздушные массы 5 направлений. Вклад западного направления составляет 9%, северо-западного 24% (7% + 17%), северного 14%, юго-западного 53%. Таким образом, в пределах юго-западного региона, расположенного в непосредственной близости от на орошаемую территорию провинции Шэньси формируются воздушные потоки, перенос которых определяет загрязнение атмосферы в пределах орошаемой территории провинции Шэньси.

## 2.2 Ландшафтные условия

Площадь орошаемой территории составляет 1233 км<sup>2</sup>, абсолютные отметки +400 - +500 м. Уклон рельефа орошения с северо-запада к юго-востоку.

Пойменные отложения р. Тинь имеют мощность в диапазоне 4-36 м, литологический состав представлен крупнозернистым песком, супесями, суглинками, мелкозернистым песком. Пойменные отложения р. Вэй имеют мощность в диапазоне 24-50 м, литологический разрез представлен мелко- и крупнозернистым песком, супесями, суглинками. Мощность отложения первой террасы р. Тинь составляет 6-20 м, литологический состав: мелкозернистый песок, песчано-гравийные отложения и суглинки; отложения первой террасы р. Вэй имеют мощность 10-20 м, литологический состав: мелкозернистый песок, песчано-гравийные отложения, суглинки, супеси; первая терраса р. Цинь сложена супесями и суглинками мощностью 10-15 м; вторая терраса р. Вэй сложена песком, гравием, суглинками, молодым лессом мощностью 16-50 м; Геоморфологическая схема района представлена на рис. 4.

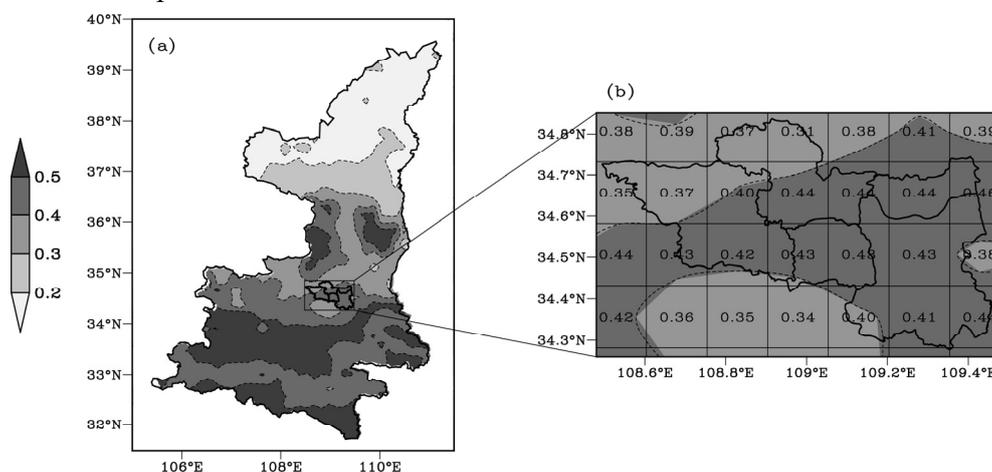


**Рис.4. Карта геоморфологических условий**

( I A-пойменные отложения р.Тинь, I B-пойменные отложения р.Вэй; II A-первый террас р.Тинь, II B--первый террас р.Вэй, II C-первый террас р.Цинь; IIIB-второй террас р.Вэй; IV-лесс;A—A' - разрез)

В данной работе с помощью значения вегетационного индекса покрова растительности (NDVI) описано площадное распределение сельскохозяйственных культур и растений на орошаемой территории провинции Шэньси.

Анализ площадного распределения растительности и тенденции изменения в течение вегетационного периода выполнена с использованием данных 3 метеостанций. Результаты анализа показали, что между длительностью вегетационного периода и среднегодовым значением NDVI существует синхронность, их коэффициент корреляции 0,56, при уровне достоверности 0,05. NDVI на орошаемой территории характеризуется снижением тенденции с юго-востока на северо-запад.



**Рис.5. Пространственное распределение среднегодовых значений NDVI в провинции Шэньси (a) и на орошаемой территории(b)**

## 2.3 Поверхностные воды

На рисунке 6 показана речная сеть орошаемой территории. Речная сеть представлена реками р.Тинь, р. Цинь, р.Шиуань и р.Вэй. р.Цинь и р.Шиуань является притокам р. Вэй. Река Тинь расположена на северо-западе орошаемого района провинции Шэньси и играет ведущую роль в агромелиоративных мероприятиях площади орошения.

По данным анализа временных рядов температуры и количества осадков, испарения и среднегодового расхода реки Тинь, выполнен анализ изменения расхода р. Тинь и оценка влияния на него климатических условий. Использован тест Манна-Кендалла.

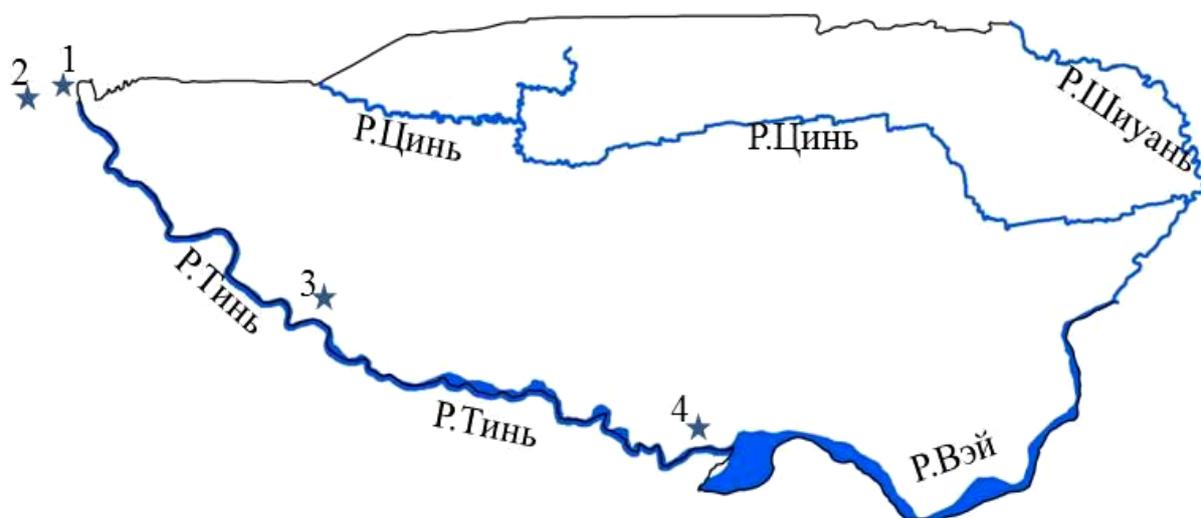


Рис. 6. Схема распределения рек( ★метеостанция )

В процессе моделирования изменений параметров временных рядов за период 1950 – 2010 гг. получены следующие результаты:

- Отмечается тенденция к снижению общего количества осадков (с 600 до 500 мм/год) и испаряемости при увеличении среднегодовой температуры воздуха с 12,7 °С до 14,5 °С.

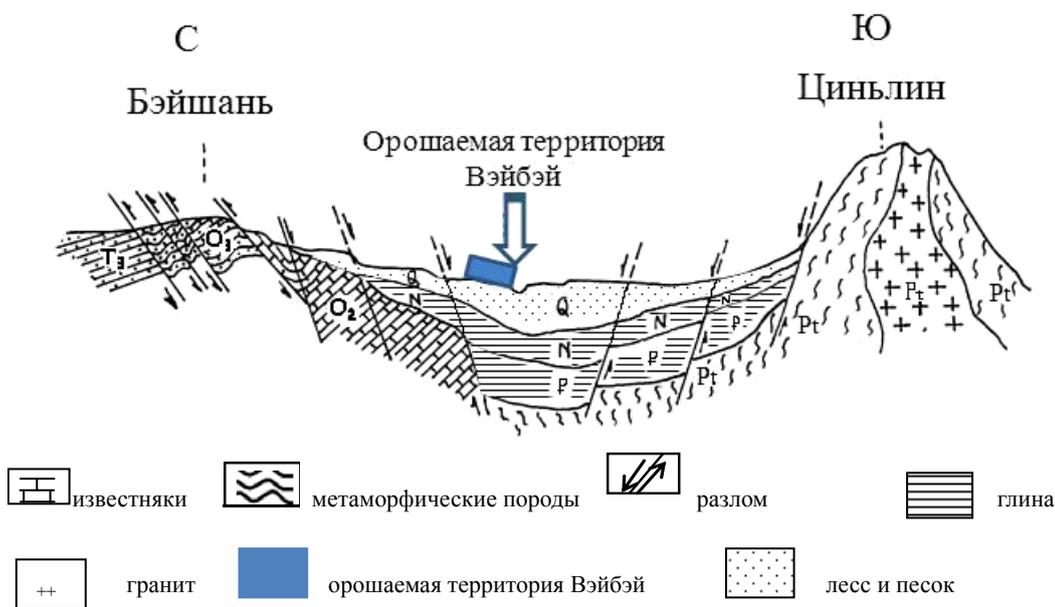
- Наблюдается тенденция к сокращению стока р. Тинь с 2,5 до 1,5 млрд. м<sup>3</sup>/год.

Главным фактором, определяющим процесс сокращения величины среднегодового стока р. Тинь, является уменьшение количества осадков, выпадающих на территории орошаемого района. Поэтому роль подземных вод на орошаемой территории в обеспечении необходимой урожайности со временем увеличивается.

## 2.4 Гидрогеологические условия орошаемой территории

Орошаемая территория в геологическом отношении располагается в центральной части

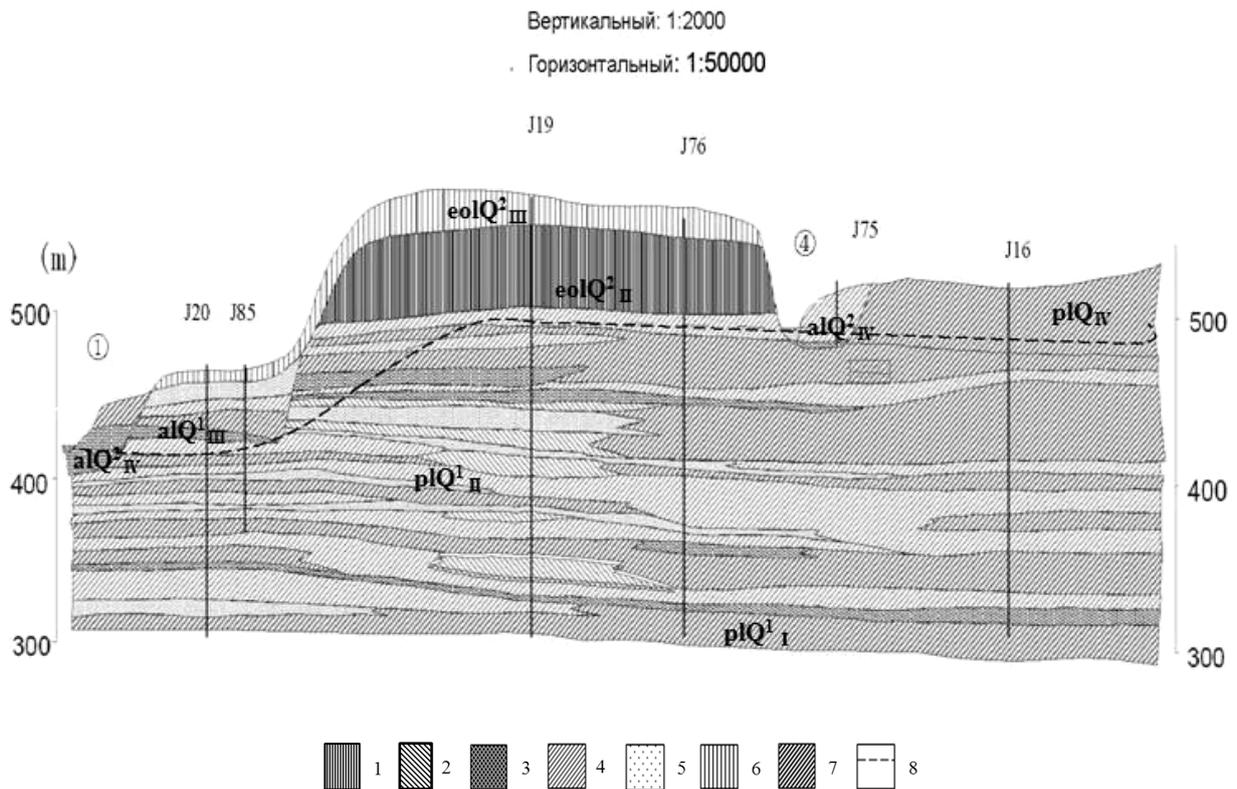
межгорной впадины, линейно ограниченной с севера хребтом Бэйшань и с юга хребтом Циньлин. Впадина представляет собой молодой грабен борта, которого на юге сложны метаморфическими и магматическими породами протерозоя (Pt), на севере дислоцированными осадочными породами палеозоя (ордовико-триаса) см. Рис.7. Грабен выполнен палеоген-неоген-четвертичными осадочными отложениями.



Q—отложение четвертичной системы, N—отложение неогеной системы, P — отложение палеогеновой системы, T<sub>3</sub>—верхний триасовой системы, O<sub>2</sub>—нерасчлененное палеозойские среднее отложение ордовикской системы, O<sub>3</sub>—нерасчлененное палеозойские верхнее отложение ордовикской системы, Pt—нерасчлененные протерозойские отложения.

Рис.7 Геологический разрез через массив орошения

Орошаемая территория сложена ниже- и среднечетвертичными пролювиальными отложениями, представленными песчано-гравийными образованиями с суглинистым заполнителем, на которых залегают аллювиальные голоценовые отложения перечисленных выше рек. Они слагают пойменные, первую и вторую надпойменные террасы. Третья (эрозионная) терраса сложена неоплейстоценовыми лессами, частично (на севере) перекрывающими пролювиальные и аллювиальные отложения. Подземные воды залегают в четвертичных аллювиальных и пролювиальных и делювиальных отложениях. Схема расположения основных водоносных горизонтов приводится на рис.8.



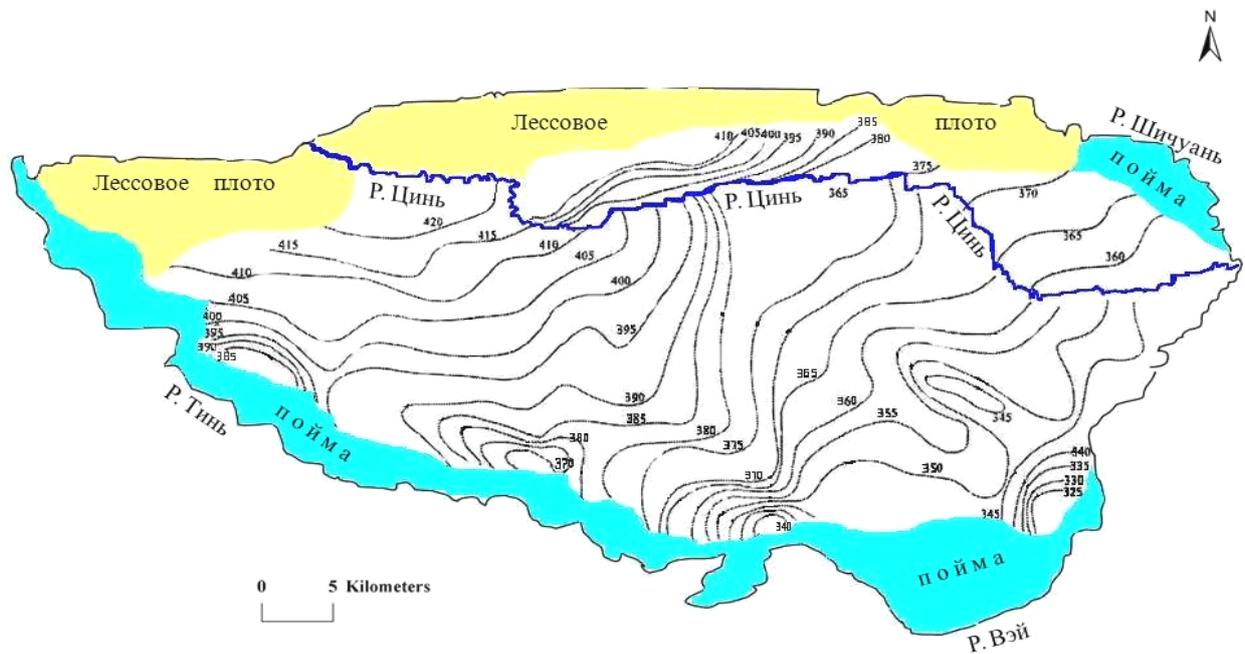
1-старый лесс, 2-глина, 3-гравий, 4-супесь, 5-песок, 6-новый лесс, 7-суглинок, 8-уровень грунтовых вод, ①-река Тинь, ④-река Цинь, J16-J85 –скважин. Проллювиальные отложения: plQ<sup>I</sup> - нижнечетвертичное отложение, plQ<sup>II</sup> - среднечетвертичное отложение, plQ<sup>IV</sup>-верхнечетвертичное отложение; эолювиальные отложения: eolQ<sup>III</sup> – среднечетвертичное отложение, eolQ<sup>II</sup> - верхнечетвертичное отложение; аллювиальные отложения: alQ<sup>IV</sup>-нижнечетвертичное отложение, alQ<sup>III</sup>-среднечетвертичное отложение.

**Рис. 8. Схематический гидрогеологический разрез орошаемой территории**

Голоценовый аллювиальный водоносный горизонт сложен среднезернистыми и мелкозернистыми песками (alQ<sup>IV</sup>) приурочен к пойме р.р.Тинь и Цинь. Плиоценовый аллювиальный водоносный горизонт с песками и суглинками alQ<sup>III</sup> и приурочен к первой террасе р.Тинь. Лессовый водоносный горизонт (eolQ<sup>III</sup>, eolQ<sup>II</sup>) приурочен к эрозионной террасе р. Тинь, расположенной на севере орошаемой территории. Его мощность 15-75 м. В предгорно-пролювиальной равнине развиты пролювиальные отложения (plQ<sup>IV</sup>, plQ<sup>I</sup>, plQ<sup>II</sup>). Вскрытая мощность водоносных горизонтов достигает 200 м (минимум в поймах, а максимум в пределах лессовых плато). Минерализация подземных вод достигает 1,5 г/л. В пределах первых террас р.Тинь и р. Цинь залегают пресные воды. Химический тип подземных вод гидрокарбонатно-натриевый и сульфатно-гидрокарбонатно-натриевый.

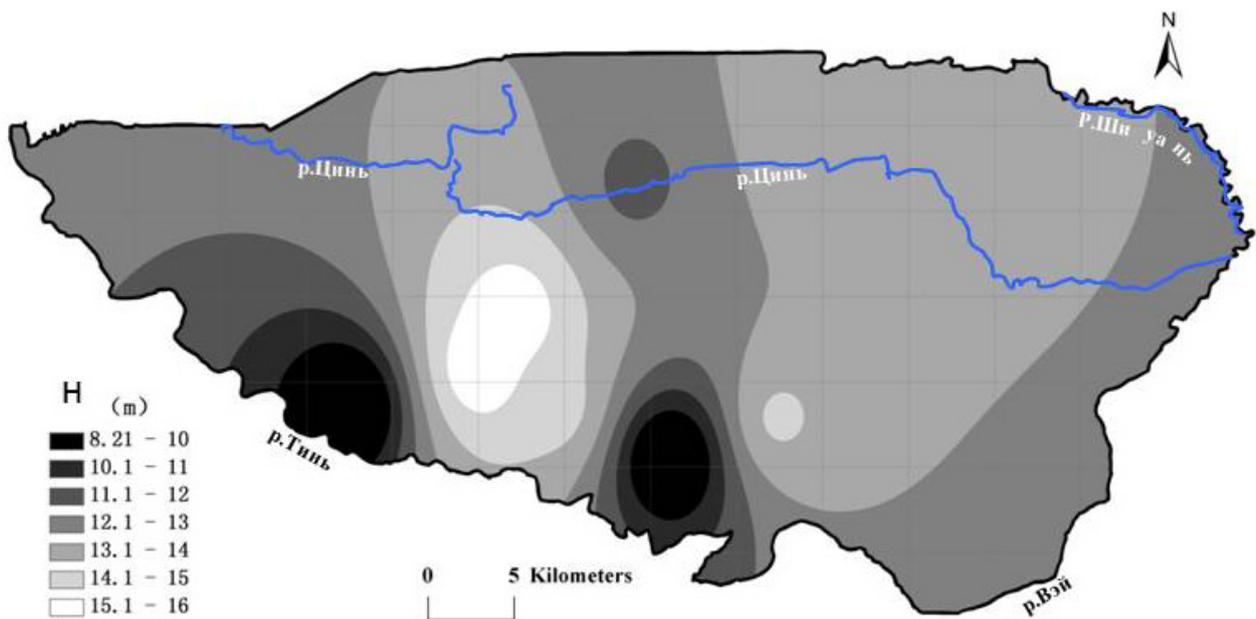
В целом фильтрационный поток формируется на севере и северо-западе территории (в долине р. Цинь и в верховьях р.Тинь) и движется в восточном и юго-восточном направлениях, разгружаясь в долинах рр.Вэй, Шичуфнь и, частично, в долине р.Тинь (см.

рис.9). Питание подземных вод осуществляется за счет атмосферных осадков, расхода орошения, а также за счет фильтрации из рек, каналов и коллекторов (см. рис.12).

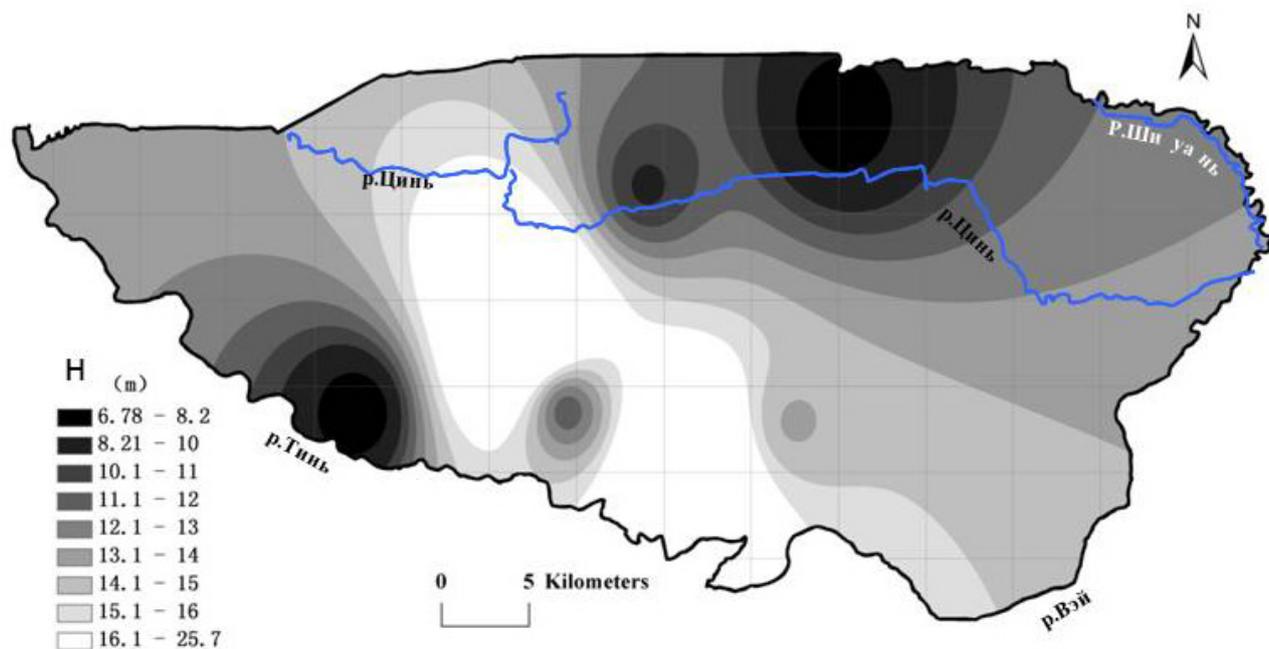


**Рис.9. Карта-схема гидроизогипс грунтовых вод орошаемой территории**

Характер изменения глубины залегания грунтовых вод во времени (от 2001 к 2012г.) показан на рис. 10 и 11.



**Рис.10. Глубина залегания грунтовых вод в 2001 году**



**Рис.11. Глубина залегания грунтовых вод в 2012 году**

Следует отметить, что со временем глубина залегания грунтовых вод в центральной и южной частях орошаемой территории увеличивается от 13-15 м до 25 м. Причиной является водоотбор для целей орошения.

В пределах орошаемой территории в 2008г были развиты в основном пресные воды сульфатно-гидрокарбонатно натриевого состава. К 2012 г на севере и юге территории получили распространение солоноватые воды с минерализацией до 2 г/л и химический состав сменился на хлоридно-гидрокарбонатной, магниевно-натриевой. За этот же период наблюдалось некоторое снижение концентрации компонентов-загрязнителей (As, Hg, Cu) и увеличение концентрацией нитратов и хрома.

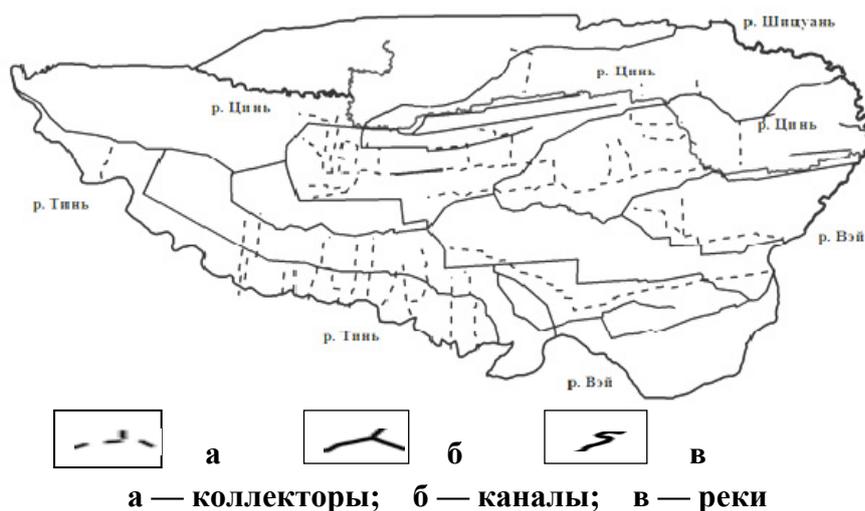
### **3. Техногенная нагрузка на ЭГГС и условия загрязнения подземных вод**

#### **3.1. Агромелиоративные нагрузки**

На орошаемой территории располагаются 19 оросительных каналов, общей протяженностью 299,8 км, и 36 коллекторов, общей протяженностью 337,1 км.

Коэффициент эффективности использования оросительных вод повысился от 0,4 до 0,6, в связи с увеличением количества каналов и частичной герметизацией их ложа. Процент использования для орошения подземных вод (скважины) составляет 40%.

Основное орошение сельскохозяйственных культур производится из поверхностных вод и осуществляется за счет подачи воды из реки Тиньхэ. Орошения осуществляется поверхностным способом (напуск по бороздам и полосам, местное затопление и частично дождеванием). Дренажный сток удаляется с территории с помощью сети коллекторов, которые образуют совместно с каналами орошаемого района сложную гидравлическую сеть. Сброс дренажного стока осуществляется в местные реки Тинь, Вэй и Цинь.



**Рис.12. Схема расположения каналов и коллекторов в пределах орошаемого района**

Оросительные воды частично фильтруются через незагерметизированные ложа каналов и коллекторов. Качество воды в каналах по анализируемым элементам соответствует нормативным требованиям качества, а в коллекторах отмечается превышение по хрому (2 ПДК). Поскольку коллекторная сеть расположена «внутри» посевных площадей, то попадание загрязняющих веществ имеет наибольшую вероятность в сравнении с сетью каналов, расположенных по периферии посевных площадей.

### **3.2 Удобрения и пестициды необходимые для выращивания сельскохозяйственных культур**

На орошаемой территории использовалось комплексное удобрение (азотное, мочевиная, фосфорное) и пестициды (гербициды и имидаклоприд). Количество вносимых пестицидов достигает 3000-3750 мл/га, 30%-40% этой массы усваивается сельскохозяйственными культурами, остальная часть уходит в водную среду, почву и атмосферу.

Для получения высоких урожаев необходимо регулировать азотное питание

выращиваемых культур. Обеспечение оптимального азотного питания достигается применением растворимых азотных удобрений или внесением удобрений с медленным высвобождением питательных веществ. Среднее содержание тяжелых металлов в различных калийных, азотных, фосфорных, сложных и комплексных удобрениях приведено в работах М.М.Овчаренко (1997г.). Фосфорные удобрения содержат Cr-46,1мг/кг, Cu-33,1мг/кг; минеральные удобрения содержат Cr-42мг/кг, Cu-26мг/кг, As-2,5мг/кг; Сложные и комплексные удобрения содержат Cr-116мг/кг, Cu-39мг/кг, As-3мг/кг. Из приведенных цифр можно заключить, что удобрения способствуют не только повышению урожайности сельскохозяйственных культур, но и загрязнению окружающей среды.

### 3.3 Условия загрязнения подземных вод

На рисунке 13 показано, что удобрения и пестициды частично через зону аэрации попадают в грунтовые воды, частично остаются в почве и попадают в растительность, и определенная их часть счет транспирации уходит в атмосферу.



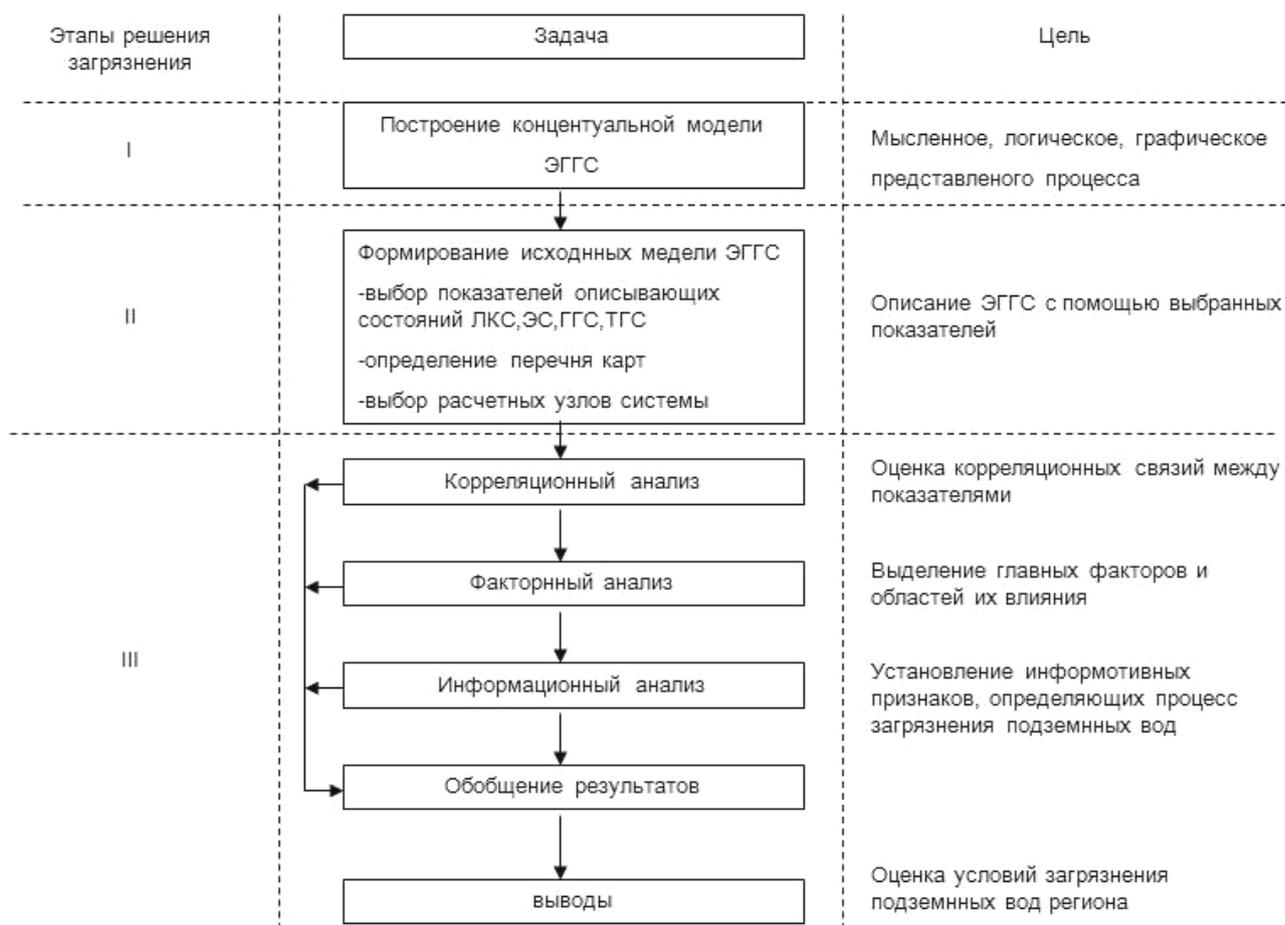
**Рис.13. Схема миграции элементов-загрязнителей**

Результат анализа показал, что основные элементы-загрязнители в различной степени фиксируются почвой. Мышьяк аккумулируется в почвенном слое на глубине 1-3,8 м. Ртуть на глубине 1-2 м. Медь -1-3,5 м. Хром – 0,8-4 м. Нитрат–0,8-3,5 м. Несмотря на этот факт в

подземных водах обнаружены концентрации: мышьяк от 0,058 до 0,02 мг/л, ртуть от 0,18 до 0,00014 мг/л, хром от 0,15 до 0,108 мг/л, медь от 0,0018 до 0 мг/л, нитрат от 48,3 мг/л до 81,9 мг/л. Во времени отмечена некоторая тенденция снижения концентрации As, Hg, Cr, Cu, но увеличение концентраций нитрата.

#### 4. Изучение условий загрязнения подземных вод

Для изучения условий загрязнения подземных вод региона нами предложен следующий алгоритм (см. рис.14).

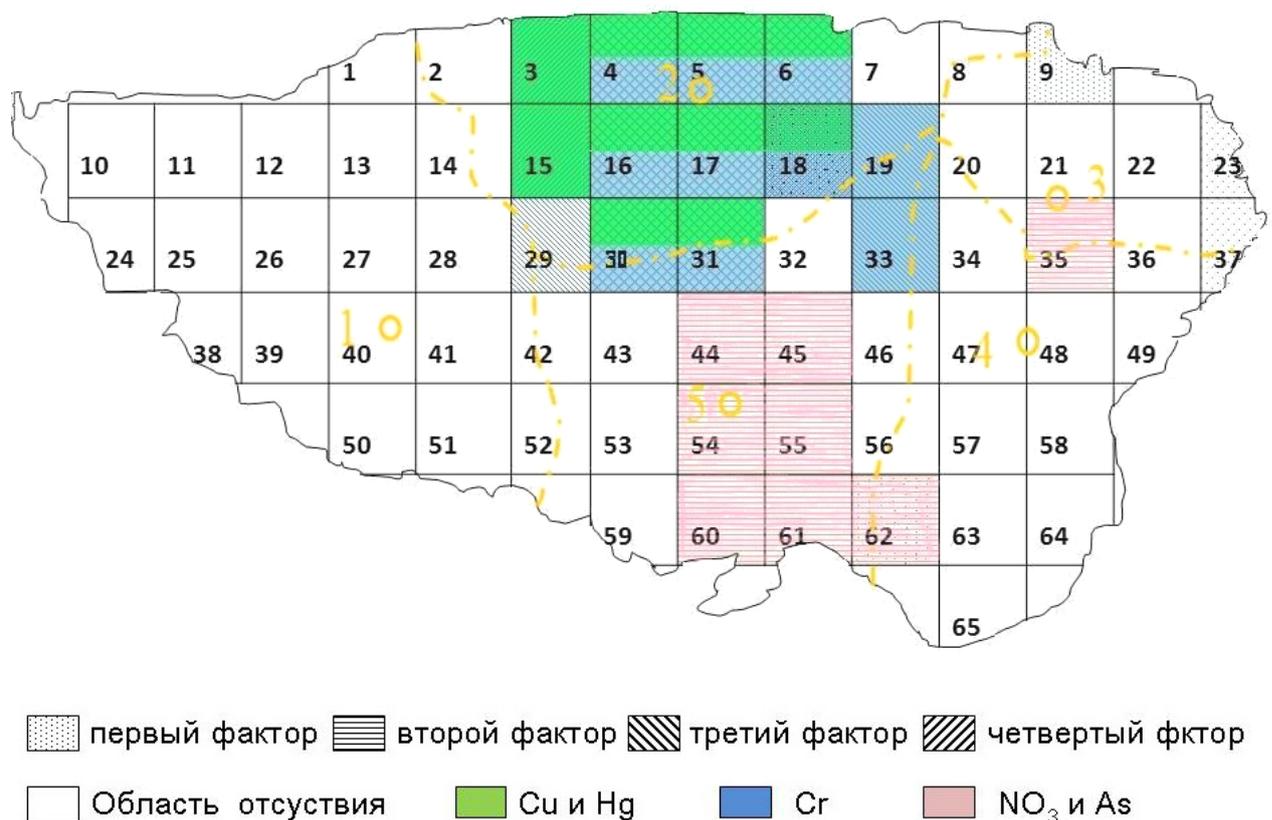


**Рис.14. Общий алгоритм изучения эколого-гидрогеологических условий в пределах орошаемой территории провинции Шэньси**

По результатам факторного анализа установлено, что выделенные главные факторы оказывают существенное влияние на экологическое состояние орошаемой территории провинции Шэньси. Картографическая иллюстрация 4 главных факторов приведена на рис.15. Так, 1-й фактор, характеризующий взаимосвязь химического состава подземных вод ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{M}$ ) и загрязнения почвы хромом и ртутью ( $\text{Cr}_{\text{п}}$ ,  $\text{Hg}_{\text{п}}$ ) максимально распространен в

районе №2 (в блоках №18), в районе №3 (в блоках №9,23,37) и в районе №5 (в блоках №62); 2-й фактор, характеризующий взаимосвязь  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cu}$ , мышьяка в грунтовых водах – в районе №3 (в блоках № 35), в районе №5 (в блоках №44, 45, 54, 55, 60, 61 и 62); 3-й фактор, характеризующий взаимосвязь  $\text{Cu}$  в грунтовых водах,  $\text{Hg}$  в грунтовых водах– в районе №2 (в блоках № 4, 5, 6, 16, 17, 18, 19, 29, 30, 31 и 33), а 4-й фактор, характеризующий взаимосвязь удобрения,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , рН в почве – в пределах района №2 (в блоках № 3, 4, 5, 6, 15, 16, 17, 18, 30 и 31).

В данной работе показано, что наиболее неблагоприятной эколого-гидрогеологической обстановкой характеризуется 2-й административный район (районный центр г. Юань). Здесь суммируется влияние 1-го, 3-го и 4-го главных факторов и в грунтовых вода накапливаются  $\text{Cu}$ ,  $\text{Hg}$  и  $\text{Cr}$ . В 5-ом административном районе (г. Тон). на экологическую обстановку оказывает влияние 2-ой главный фактор и в грунтовых водах накапливаются  $\text{As}$  и  $\text{NO}_3^-$ .



**Рис. 15. Иллюстрация распределения влияния выделенных факторов в различных районах орошаемой территории провинции Шэньси**

На основе информационного анализа были составлены пространственные гидрогеохимические оценочные модели по 5 элементам-загрязнителям ( $\text{As}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Hg}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) на орошаемой территории провинции Шэньси. На основе расчета информативности были

выделены признаки, оказывающие наибольшее влияние на изменение концентрации 5 элементов-загрязнителей в грунтовых водах.

Для мышьяка в грунтовых водах наиболее информативными определены признаки, отражающие содержание хрома и мышьяка в почве, концентрацию  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  в грунтовых водах. В качестве источника загрязнения подземных вод района исследования прежде всего рассматривались комплексные удобрения, в которые мышьяк входит в качестве микродобавок и частично накапливается в почве. В процессе орошения происходит частичное вымывание мышьяка из почвенного слоя. Максимальная информативность гидрокарбонат-иона по отношению к мышьяку подчеркивает тот факт, что в гидрокарбонатные воды способствуют его миграции.

Для хрома в грунтовых водах наиболее информативными определены признаки, отражающие концентрации сульфата в грунтовых водах, содержания фосфатов и меди в почве, а также геоморфологического условия, количество вносимых удобрений и расход воды для орошения. Анализ взаимной информативности признаков позволяет заметить, что источником накопления Cr в подземных водах также являются комплексные удобрения, в которые хром входит в виде микродобавок (М.М.Овчаренко,1997г).

Высокая взаимная информативность As и Cr подчеркивает тот факт, что они имеют одинаковые условия накопления в почве (Иванов,1997 г).

Для меди в грунтовых водах наиболее информативными определены признаки, отражающие кислотно-щелочные условия (pH) и содержание органики в почве, такие количество вносимых удобрений. В качестве источника загрязнения подземных вод района исследования также целесообразно рассматривать комплексные удобрения, в которые медь входит в качестве микродобавок (М.М.Овчаренко, 1997г.). Щелочность почвы и содержание органики способствуют перемещению меди в подземные воды. В слабощелочной и кислой среде медь образует легко мигрирующие органо-минеральные комплексы, которые транспортируются в грунтовые воды.

Для ртути в грунтовых водах наиболее информативными определены признаки, отражающие концентрации кальция в грунтовых водах, содержания меди и хрома в почве, направления движение грунтовых вод. Связь концентраций ртути в подземных водах с концентрациями меди и хрома в почве подчеркивает то, что общим источником их накопления в почве и грунтовых водах являются комплексные удобрения, содержащие

указанные элементы в качестве микродобавок. Фактором миграции ртути в грунтовых водах является повышенное содержание кальция, которое приводит к образованию соединений ртути (особенно гидроокиси и карбоната ртути) и перехода в формы, легко мигрирующие в потоке подземных вод (М.М. Овчаренко, 1997г.).

Для нитрат-иона в грунтовых водах наиболее информативными определены признаки, отражающие количество вносимых удобрений, и направление движения грунтовых вод. В качестве источника загрязнения подземных вод района исследования прежде всего рассматривались комплексные удобрения, в которые азот входит в качестве основного питательного компонента. Количество вносимых удобрений и направление движения грунтовых вод способствуют перемещению нитрата в подземные воды.

### **Заключение**

1. В работе показано, что основой для изучения и комплексной оценки эколого-гидрогеологического состояния орошаемой территории провинции Шэньси является ЭГГС, которая представляет открытую динамическую систему, состоящую из ландшафтных подсистем и компонентов экосистем (атмосфера, почвы, поверхностные и грунтовые воды). ЭГГС находится в трансформации под воздействием техногенной нагрузки (орошение, дренаж, удобрения, выращиваемые сельскохозяйственные культуры).

2. Разработан алгоритм, который явился основой для описания структуры, связей, условий функционирования и прогноза состояния ЭГГС. На основе разработанного алгоритма выполнена комплексная оценка эколого-гидрогеологического состояния орошаемой территории в пределах провинции Шэньси.

3. Для решения задач районирования ЭГГС автор предлагает использовать факторное моделирование, позволяющее: а) редуцировать пространство показателей состояния ЭГГС; б) выделить главные системообразующие факторы, которые контролируют состояние и поведение ЭГГС; в) генерировать в процессе создания концептуальной схемы ЭГГС серию факторных моделей, позволяющих установить взаимосвязь техногенных и гидрогеологических процессов; г) выполнить районирование территории ЭГГС.

4. Разработаны пространственные гидрогеохимические оценочные модели и составлен перечень показателей, влияющих на подвижность элементов-загрязнителей подземных вод (нитрат- $\text{NO}_3^-$ , мышьяк-As, медь-Cu, ртуть-Hg, хром-Cr). Выделены признаки, оказывающие максимальное влияние на изменение состояния ЭГГС орошаемой территории.

5. На базе наиболее информативных признаков были сформированы оптимальные (по

эффективности распознавания) матрицы T, и проведено распознавание в пределах тестированных участков территорий (средняя ошибка распознавания не превышает 15-20%). По результатам распознавания оценены условия загрязнения подземных вод в пределах орошаемой территории провинции Шэньси.

6. Установлены диапазоны (интервалы) значений факторов, в пределах которых они оказывают максимальное влияние на загрязнения подземных вод и сделать следующие выводы:

-Ионы мышьяка накапливаются при расходе оросительных вод не более  $190 \text{ м}^3/\text{га}$ , при концентрации мышьяка в почве более  $9 \text{ мг/кг}$ . Наиболее благоприятные условия для накопления и миграции мышьяка в грунтовых водах наблюдаются при концентрации гидрокарбоната-иона должно составлять  $883\text{-}1150 \text{ мг/л}$ . Кроме того установлена зависимость концентраций мышьяка от режима орошения.

-Ионы меди накапливаются при количестве вносимых удобрений наиболее  $1,3 \text{ т/га}$ , при содержании органики в почве меньше  $0,6\%$ , при наличии слабощелочных или щелочных почв. В качестве источника загрязнения подземных вод района исследования целесообразно рассматривать комплексные удобрения, в которые медь входит в качестве микродобавок (М.М. Овчаренко, 1997г.). Щелочность почвы и содержание органики способствуют перемещению меди в подземные воды. Кроме того этот ион достаточно хорошо мигрирует в гидрокарбонатных водах. Связь с положением уровней подземных вода характеризует зависимость концентраций меди от режима орошения.

-Ионы хрома в подземных водах накапливается при количестве вносимых удобрений  $0,7\text{-}1,0 \text{ т/га}$ , при расходе орошения менее  $190 \text{ м}^3/\text{га}$  и при содержании фосфора в почве более  $1080 \text{ мг/л}$ . Благоприятные условия для накопления хрома в подземных водах формируются в пределах первой надпойменной террасы. Присутствие фосфорорганических удобрений способствует образованию органических комплексов хрома, хорошо мигрирующего в этой форме.

-Ионы ртути накапливаются в подземных водах при концентрации кальция более  $145 \text{ мг/л}$ , при направлении движения грунтовых вод на юго-восток. Концентрация ртути в грунтовых водах зависит от количества удобрений. Свойства почвы (N,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  в почве) определяют подвижность ртути в грунтовых водах. Кроме того, концентрация ртути в грунтовых водах зависит от положения уровней грунтовых вод, изменение которого

определяется интенсивностью орошения. Фактором миграции ртути в грунтовых водах является повышенное содержание кальция, которое приводит к образованию соединений ртути (особенно гидроксида и карбоната ртути) и перехода в формы, легко мигрирующие в потоке подземных вод (М.М. Овчаренко, 1997г.).

-Ионы нитрата накапливаются при количестве вносимых удобрений в интервале 1,0-1,3 т/га, при направлении движения грунтовых вод на юго-восток. Рост нитратного загрязнения на территории орошения происходит как во временном разрезе и по площади. Этому процессу способствует увеличение количества вносимых удобрений, приведшее к полной неспособности задерживать азот в почве и усваивать азот растениями. Попадая в грунтовые воды, нитраты разносятся потоком подземных вод, расширяя ореолы загрязнения в юго-восточном направлении.

7. По результатам факторного анализа выполнено картирование районов с различной эколого-гидрогеологической обстановкой:

1-ый район (районный центр г.Ян) орошаемой территории характеризуется благоприятными эколого-гидрогеологическими условиями.

В пределах 2-го района (с районным центром в г. Юань) отмечается загрязнение подземных вод медью, ртутью и мышьяком. На некоторых участках отмечены загрязнения почвенного покрова хромом и ртутью, рост минерализации подземных вод. Аккумуляция меди в почвенном покрове очевидно связана с минимальным развитием растительного покрова, на что указывают характерные значения индекса NDVI. Этот район характеризуется наиболее опасными в эколого-гидрогеологическом отношении условиями. Здесь выделенные главные факторы имеют максимальное влияние и суммируются.

3-ий выделенный район (районный центр г. Ли) характеризуется неблагоприятными эколого-гидрогеологическими условиями. Он характеризуется загрязнением подземных вод мышьяком и накоплением в почве хрома и ртути. Кроме того, результат реализации модели HYSPLIT показал, что качество воздуха, поступающего с юго-востока территории, в значительной мере влияет на качество верхнего слоя почвы.

В 5-м районе(районный центр г. Тон) главным фактором влияния на загрязнение подземных вод здесь является мышьяк и эколого-гидрогеологическое состояние этого района нельзя назвать благоприятным.

8. По результатам комплексного анализа эколого-гидрогеологической ситуации

предложены варианты защиты от загрязнения подземных вод в экологически неблагоприятных районах:

1. Сократить потери на фильтрацию за счет:

-использования эффективных способов орошения (дождевание, капельное орошение, орошение с прокладкой полиэтиленовых трубопроводов в междурядьях с дозированной подачей оросительной воды);

-исключения фильтрационных потерь из оросительной и дренажной сетей;

-средняя оросительная норма не должна превышать  $200\text{м}^3/\text{га}$ .

2. Сократить использование комплексных удобрений до европейских норм ( $300\text{т}/\text{га}$ )

3. Для выделенного экологически-опасного района (районный центр г. Юань) предусмотреть поиск новых источников хозяйственно-питьевого водоснабжения.

### **Список опубликованных работ по теме диссертации**

#### **в изданиях, рекомендованных ВАК:**

1. **Ли Цзюньюань.** Оценка загрязнения подземных вод в пределах орошаемого района провинции Шэньси (северо-запад КНР) // А.Б. Лисенков, О.А. Лиманцева. Изв. Вузов Геология и разведка. 2012, №4.

#### **в других журналах:**

2. **Li Junyuan.** Change in vegetation cover and its relationship with climate change in Jinghui Canal Irrigation Area of Shaanxi province// Guangdong Agricultural Sciences. 2013, №2.

3. **Li Junyuan.** Spatial-temporal changes of climate and vegetation cover in the semi-arid and arid regions of China during 1982—2006 // Ecology and Environmental Sciences. 2012, №2.

4. **Li Junyuan.** Characteristics of Temporal Spatial Evolution of Vegetation Cover in Shaanxi Province and Its Response to Climate Change // Soil and water conservation in china. 2011, №6.

5. **Li Junyuan.** Research of dynamics and relationship of precipitation and temperature in the recent 60 years in China // Li Peicheng, Li Junyuan. Science engineering in China, 2011, №4.

6. **Li Junyuan.** Response of Vegetation Cover over Shaanxi province to Global Warming // ISWREP 2011, EI, 2011, №3.

#### **Труды конференций и совещаний:**

7. **Ли Цзюньюань.** Характер пространственно-временной эволюции

растительности в аридном районе и ее реакции на изменение климата (г. Урумчи КНР) . XX Международный молодежный научный форум «ЛОМОНОСОВ». Тез. Докл. МГУ им. М.В.Ломоносова. 2013.

8. **Ли Цзюньюань.** Анализ баланса поверхностных и подземных вод в пределах орошаемой территории провинции Шэньси (Северо-запад КНР). VI Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых « Молодые – наукам о земле». Тез. докл. МГРИ - РГГРУ. 2012.

9. **Ли Цзюньюань.** Влияние климатических факторов на изменение расхода р.Тиньхэ в пределах орошаемой территории провинции Шэньси (Северо-запад КНР). VI Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых « Молодые – наукам о земле». Тез. докл. МГРИ-РГГРУ. 2012.

10. **Ли Цзюньюань.** Характер пространственно-временной эволюции растительности на полузасушливых и засушливых районах КНР и ее реакции на изменение климата. International Conference: Man and Environment - Enemies or Friends? Тез. докл. Исследовательский центр «Биоресурсы и экология». 2011.

11. **Ли Цзюньюань.** Изучение влияния природно-климатических факторов на формирование мелиоративных условий провинции Шэньси (Северо-запад КНР), X Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Тез. докл. МГРИ-РГГРУ. 2011.