

*На правах рукописи*

**Белова Юлия Юрьевна**

**ГЕОХИМИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД  
БАССЕЙНА СРЕДНЕГО И НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. КАТУНЬ**

Специальность 25.00.07 – гидрогеология

**Автореферат**

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2008

**Работа выполнена** в Томском политехническом университете

**Научный руководитель:** доктор геолого-минералогических наук,  
профессор **Николай Михайлович Рассказов**

**Официальные оппоненты:** доктор геолого-минералогических наук,  
профессор **Виктор Семенович Кусковский**

кандидат геолого-минералогических наук,  
**Владимир Георгиевич Иванов**

**Ведущая организация:** ОАО «Томскгеомониторинг», г. Томск.

**Защита диссертации** состоится 24 декабря 2008 г. в 16<sup>30</sup> часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций ДМ 212.269.03 при Томском политехническом университете.

**Адрес:** 634028, г. Томск, ул. Ленина, 2/5, 20-й корпус ТПУ, 406 аудитория.  
Факс: (382-2) 492-163

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ТПУ по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского, д. 55.

**Автореферат диссертации разослан** « 20 » ноября 2008 г.

**Ученый секретарь  
по защите докторских  
и кандидатских диссертаций  
ДМ 212.269.03**



**О.Е. Лепокурова**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В последние годы резко возрастает значение исследований, направленных на изучение состава вод верхней гидродинамической зоны, интенсивно осваиваемой в процессе хозяйственной деятельности. При этом нередко в силу ряда причин не учитываются закономерности его формирования и миграция химических элементов, что ведет к снижению эффективности гидрогеологических работ.

Сохранение качества подземных вод и их рациональное использование без ущерба для окружающей среды является актуальным, особенно в области гидрогеоэкологии. Большое значение в решении проблем гидрогеологии принадлежит качеству подземных вод и эффективности их использования. Важность этого стала особенно ясной в последние десятилетия, когда качество подземных вод верхних горизонтов, используемых для водоснабжения, стало ухудшаться, что ведет к ухудшению и всей окружающей среды.

В связи с этим в работе основное внимание уделено выявлению закономерностей геохимического состояния подземных вод региона и особенностям формирования их состава под воздействием различных факторов, включая техногенные.

**Объектом научного исследования** являются подземные воды бассейна среднего и нижнего течения р. Катунь, а **предметом** – их химический состав, процессы и факторы его формирования.

**Цель работы.** Установление закономерностей распространения и формирования состава подземных вод бассейна среднего и нижнего течения р. Катунь.

**Основные задачи исследований:** 1) изучить состав и режим подземных вод региона; 2) выявить степень равновесия подземных вод с горными породами; 3) охарактеризовать влияние водообмена на формирование состава подземных вод; 4) выделить геохимические типы подземных вод и установить закономерности их распределения; 5) оценить современное экологическое состояние подземных вод района исследований, прежде всего, хозяйственно-питьевых.

**Научная новизна.** Впервые на основе мониторинговых исследований (1989 – 2007 гг.) выявлены изменения содержания компонентов химического состава грунтовых вод региона.

Определены закономерности распределения подземных вод различного состава по территории региона. С использованием программного комплекса «HydroGeo» рассчитаны основные формы миграции химических элементов в подземных водах, проведена оценка степени их равновесия с карбонатными и алюмосиликатными минералами водовмещающих горных пород, установлена зависимость изменения состава подземных вод от интенсивности водообмена.

В работе, впервые для района исследований, выделены геохимические типы подземных вод по классификации С.Л. Шварцева, дано пространственное их распределение по территории.

Получены новые данные об экогеохимической обстановке в районе, проведена оценка качества подземных вод не только с позиции санитарно-гигиенического нормирования, но и с учетом их физиологической полноценности.

### **Защищаемые положения.**

1. В характеризуемом районе исследований установлено равновесие подземных вод с карбонатами и повсеместно с вторичными алюмосиликатами (каолинит, иллит и др.), но в тоже время они неравновесны с первичными алюмосиликатами (анортит, альбит и др.).
2. Выявленные геохимические типы подземных вод в регионе связаны с развитием процессов в системе вода-порода-органическое вещество, протекающих в соответствии с интенсивностью водообмена и типами ландшафтов.
3. Подземные воды зоны активного водообмена бассейна среднего и нижнего течения р. Катунь в основном находятся на начальной стадии загрязнения. В целом район характеризуется пониженной антропогенной нагрузкой, в связи с чем состояние подземных вод ухудшается незначительно, и они классифицируются как незагрязненные, только на локальных участках, в единичных случаях, они являются слабозагрязненными.

**Исходный материал.** В основу диссертационной работы положены фактические данные, полученные непосредственно автором в процессе исследований в регионе (1989 – 2007 гг.), а также материалы коллективов Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики Сибирского отделения Российской академии наук (ТФ ИНГГ СО РАН) и кафедры Гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института геологии нефтегазового дела Томского политехнического университета (ГИГЭ ИГНД ТПУ).

Всего в процессе исследований использовано свыше 350 анализов подземных вод характеризуемого района, из 82 водопунктов.

**Методика исследования.** Исследования проводились на основе выявленных гидрогеохимических закономерностей (С.Л. Шварцев, С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко, П.А. Удодов и др.) с использованием результатов комплексного изучения геолого-структурных, гидрогеологических условий и геохимических особенностей территории. Пробы воды отобраны из 20 режимных родников и 32 скважин, а также 30 ручьев, при обязательной оценке концентраций в них быстроизменяющихся компонентов. Изучение химического состава подземных вод проводилось по количественным и качественным показателям, полученным на основе интерпретации результатов химических анализов проб воды, выполненных в аккредитованных лабораториях новейшими аналитическими методами. При обработке материалов применялась программа гидрогеохимического моделирования «HydroGeo», автор М.Б. Букаты (1999), с использованием которой выполнена количественная оценка равновесия подземных вод с основными породообразующими карбонатными и алюмосиликатными

минералами. Это позволило, с новых позиций, подойти к выделению геохимических типов вод в регионе с учетом интенсивности водообмена, в изучение которого большой вклад внес В.С. Кусковский.

Для интерпретации результатов использованы пакеты программ Microsoft Excel, Access, Statistica; при картографической обработке информации широко применялись пакеты программ: Surfer, Photoshop, CorelDRAW.

При решении поставленных в работе задач автором проанализированы результаты мониторинговых исследований с 1989 по 2007 гг.

**Практическая значимость.** Полученная информация об уровнях природных концентраций химических элементов может быть использована при оценке экологического состояния подземных вод. Кроме того, выявленные закономерности формирования и распространения химических типов подземных вод могут использоваться в решении водохозяйственных проблем региона.

В настоящее время материалы диссертации используются в работе ТФ ИНГГ СО РАН, а также отдельные главы в учебном процессе ТПУ.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований по теме диссертации докладывались на следующих форумах и научных семинарах: на VI, VIII – XI международных симпозиумах им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2002, 2004 – 2007); на форуме: «Проблемы науки, техники и образования» (Москва, 2005); на V Международной конференции: «Геология в школе и высших учебных заведениях. Геология и цивилизация» (Санкт-Петербург, 2007).

Публикации текстов докладов (без выступления) приняты и опубликованы: на VI Сибирском совещании по климатологическому мониторингу (Томск, 2005); на VI окружной конференции молодых ученых: «Наука и инновация XXI века» (Сургут, 2005); на конференции, посвященной 75-летию кафедры ГИГЭ ТПУ (Томск, 2005); на международной научно-практической конференции по проблемам геологии, экологии и рационального природопользования (Новочеркасск, 2005); на III межвузовской конференции молодых ученых и студентов: «Молодые ученые – наукам о Земле» (Москва, 2005); на XVIII Всероссийском совещании: «Подземные воды востока России» (Иркутск, 2006); на Международной научно-практической конференции: «Питьевая вода Сибири» (Барнаул, 2006); на Международной научно-практической конференции: «Антропогенная динамика природной среды» (Пермь, 2006); на научно-практической конференции: «Эколого-экономическая эффективность природопользования на современном этапе развития Западно-Сибирского региона» (Омск, 2006); на IV Всероссийской научно-технической конференции: «Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна» (Тюмень, 2006); на VIII Международной конференции: «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2007); на конференции: «Современные проблемы геохимии» (Иркутск, 2007); на всероссийской

конференции: «Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды» (Иркутск, 2007).

По теме диссертации всего опубликовано 29 работ (включая тезисы), в том числе в журналах рекомендованных ВАК – 3.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы, насчитывающего более 100 наименований. Материал диссертации изложен на 146 страницах, иллюстрирован 31 рисунком и содержит 33 таблицы.

Автор выражает искреннюю признательность научному руководителю работы доктору геолого-минералогических наук, профессору Н.М. Рассказову, благодарит за ценные советы и оказанную помощь в работе д.г.-м.н., профессора С.Л. Шварцева, д.г.-м.н., профессора М.Б. Букаты, д.г.-м.н., профессора В.С. Кусковского, д.г.-м.н., профессора Е.М. Дутова, д.г.-м.н., профессора О.Г. Савичева, к.г.-м.н., директора УНПЦ «Вода» Ю.Г. Копылову и др. Особую признательность за постоянное внимание и советы автор выражает к.г.-м.н. Н.М. Шварцевой. Кроме того, за консультацию и посильную поддержку, оказанную автору в ходе данной научно-исследовательской работы автор искренне благодарит коллективы ТФ ИНГГ СО РАН и кафедры ГИГЭ ИГНД ТПУ.

## **Глава 1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД БАССЕЙНА СРЕДНЕГО И НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. КАТУНЬ**

*В главе дается характеристика исследований по изучению подземных вод региона.*

Первые упоминания о подземных водах Горного Алтая относятся к концу XIX – началу XX вв. Большой вклад в изучение подземных вод внес П.И. Бутов (1945), М.И. Кучин, А.В. Тыжнов (1948), В.С. Кусковский (1965).

В 1972 году под редакцией М.А. Кузнецовой и О.В. Постниковой вышел XVII том Гидрогеологии СССР «Кемеровская область и Алтайский край», в котором В.С. Кусковским дана характеристика гидрогеологических особенностей региона.

С 60-х годов на территории проводились исследования проблемной гидрогеохимической лабораторией ТПУ под руководством П.А. Удодова, а с 1981 г. С.Л. Шварцева. В исследованиях принимали участие многие сотрудники ТПУ (В.Я. Бычков, Е.М. Дутова, Р.Ф. Зарубина, В.Г. Иванов, Ю.Г. Копылова, З.В. Лосева, А.А. Лукин, Ю.С. Парилов, Д.С. Покровский, Н.М. Рассказов, О.Г. Савичев, Н.А. Трифонова, А.Д. Фатеев, Л.Л. Шабынин, С.Л. Шварцев и мн. др.). В отдельные периоды работы велись совместно с Объединенным институтом геологии, геофизики и минералогии СО РАН (Б.А. Воротников, В.С. Кусковский, Н.А. Росляков и др.).

С начала 1990 года в этом регионе проводятся большие исследования ТФ ИНГГ СО РАН. В которых принимали участие многие исследователи (В.С. Кусковский, Н.М. Рассказов, С.Л. Шварцев, Е.В. Домрочева и мн. др.).

С 1997 года ТФ ИНГГ в рамках федерально-целевой программы «Интеграция» проводит эколого-геохимические исследования на этой

территории. Этим коллективом разработана система базовых точек или пунктов наблюдений, которая облегчает решение многих фундаментальных проблем, связанных с состоянием водных ресурсов, оценкой масштаба загрязнения, накопления токсичных веществ в водах, трансформацией их химического состава. Это обеспечит возможность разработки методов долгосрочного прогноза изменений качества подземных вод.

В настоящее время, когда интерес к экологическим проблемам возрастает, а вопрос рационального использования геологической среды человеком остается открытым, актуальность изучения геохимической деятельности подземных вод может только возрастать.

## **Глава 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА**

*В главе приводится описание геоморфологических, гидрологических условий и поясность почвенного покрова района исследований.*

Климат. Основным фактором, определяющим резко континентальный климат является продолжительная, холодная зима и кратковременное, но жаркое лето. Количество атмосферных осадков составляет 300 – 900 мм/год, достигая в среднегорье и высокогорье 1500 мм/год, при испарении в среднем 450 мм/год (Сорокина и др., 2004). Среднегодовая относительная влажность воздуха изменяется от 61 до 72 %.

В геоморфологическом плане район характеризуется наличием вертикальной поясности: низкогорья (250 – 800 м), среднегорья (800 – 2000 м).

Почвенный покров. Район исследований отличается разнообразием почвенного покрова. А.Л. Александровский (1988) и др. выделяют следующие почвенно-ландшафтные пояса: горно-луговой, горно-лесной и горно-степной.

Гидрографическая сеть. Речная система района исследований представлена р. Катунь и ее крупными притоками (Кокса, Аргут, Чуя и др.). Длина реки 688 км, площадь бассейна 60,9 тыс. км<sup>2</sup>. Питание р. Катунь ледниковое и снеговое, частично дождевое. Средний годовой ее расход в устье составляет 626 м<sup>3</sup>/сек.

Такие исследователи, как А.М. Комлев, В.С. Кусковский (1992) разделяют р. Катунь по характеру течения на три участка: верхний, средний и нижний.

## **Глава 3. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТЕРРИТОРИИ**

*В главе рассмотрено геологическое строение района, тектонические условия, история геологического развития, литолого-стратиграфическое описание пород кровли фундамента и осадочного чехла, приведена сравнительная характеристика подземных вод в зоне региональной трещиноватости коренных пород и аллювиальных отложений.*

В **геологическом отношении** район исследований охватывает южную часть Катунского антиклинория и переходную зону между Уймено-

Лебедским и Ануйско-Чуйским прогибами (синклинориями). В этом районе широко развиты эффузивно-осадочные образования венда и кембрия, а также осадочные карбонатно-терригенные породы кембрия и частично ордовика.

В морфоструктурном плане район представляет собой молодую резко расчлененную и хорошо обнаженную горную область.

В *гидрогеологическом разрезе* по условиям распространения выделяют в регионе Алтае-Саянскую горно-складчатую гидрогеологическую область (зону трещиноватости коренных пород, зону разрывных тектонических нарушений, к которым приурочены соответствующие типы вод по условиям залегания (грунтовые межпластовые, зон разрывных нарушений) и горизонт аллювиальных отложений) и Западно-Сибирский мегабассейн, в состав которого входит Кулдино-Барнаульский артезианский бассейн, граничащий с Алтае-Саянской областью.

Водовмещающие породы характеризуются значительной неоднородностью фильтрационных свойств и обводненностью. По характеру питания и разгрузки подземных вод на территории выделяются три типа режима: водораздельный, прибрежный и карстовый. Основной объем воды фильтруется через зону активного водообмена, которая является объектом наших исследований.

По данным режимных наблюдений в скважинах и родниках установлено, что состояние подземных вод определяется прямым влиянием гидростатических напоров (Корректировка и..., 2007). Формирование фильтрационных потоков определяется климатическим круговоротом воды. Области разгрузки приурочены к отрицательным формам рельефа, в том числе к руслам рек. Глубина залегания уровней подземных вод как правило составляет 10 – 20 м и увеличивается вглубь склонов до 50 – 100 м.

Величина модуля подземного стока зоны активного водообмена составляет в регионе 1 – 5 л/с·км<sup>2</sup> (по данным Ю.Н. Акуленко, В.С. Кусковского, Е.А. Соцкова и др.), т. е. водообмен является активным.

Полученные данные по составу подземных вод разделены применительно к типам вод: трещинные в коренных породах, поровые в аллювиальных отложениях и воды зон разрывных нарушений. Трещинный и трещинно-карстовый типы коллекторов характеризуются повышенной проницаемостью. По химическому составу воды коренных пород являются гидрокарбонатными кальциевыми, пресными с малой и средней минерализацией (от 77 до 680 мг/л), что указывает на формирование макрокомпонентного состава подземных вод под влиянием активного водообмена; рН их составляет 6,5 – 8,8. Сравнение среднего состава подземных вод поровых аллювиальных отложений и вод коренных пород показывает, что они по составу идентичны, хотя воды аллювиальных отложений более минерализованы (от 98 до 780 мг/л) и имеют в летний период несколько повышенную температуру по сравнению со вторыми. Для вод зон разрывных нарушений характерны более постоянные температуры и



дебиты, по сравнению с подземными водами поровых аллювиальных отложений и вод коренных пород.

#### **Глава 4. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

*Использование различных методов исследований зависит от целей и задач, поставленных при выполнении диссертационной работы.*

Главное внимание обращено на методики, которые позволяют выявлять основные закономерности распространения геохимических типов подземных вод в регионе, а также особенности формирования их химического состава. Методические основы этого направления разработаны, С.Л. Шварцевым, В.С. Кусковским, Е.М. Дутовой и мн. др.

Формирование состава подземных вод нельзя понять, не рассматривая равновесия в системе вода-порода. В связи с этим в работе анализируется равновесие подземных вод с карбонатными и алюмосиликатными минералами, наиболее широко распространенными в данном регионе. Расчет равновесия воды с горными породами проводился по методике, изложенной в работе Р.М. Гаррелса и Ч.Л. Крайста (1968). Расчеты необходимых для вычисления кванта реакции активных концентраций компонентов раствора определялись с использованием программного комплекса HydroGeo (Букаты, 1999). Решение вопроса о направлении преобразования минерального вещества в сложившихся гидрогеохимических условиях проводилось с использованием полей устойчивости минералов, построенных в различных координатах (Шварцев, 1996).

В настоящее время разработано большое количество методик оценки экологического состояния подземных вод. В основном, все они носят рекомендательный характер и не лишены своих достоинств и недостатков (Шитиков, 2005, Шварц, 2004 и др.). В системе общегосударственной службы наблюдений и контроля за загрязнением природной среды принято оценивать степень опасности для человека по сравнению с ПДК, хотя этого и недостаточно.

#### **Глава 5. ГЕОХИМИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕГИОНА**

*В главе рассмотрен химический состав подземных вод с ненарушенным режимом, его площадное распространение, произведен расчет равновесий в системе вода-порода, на основании чего выделены геохимические типы, определены основные формы миграции химических элементов, рассмотрены особенности формирования химического состава подземных вод бассейна среднего и нижнего течения р. Катунь и его изменения во времени.*

*Химический состав вод региона* определяется, прежде всего, их генетической природой, а также процессами в системе вода-порода (Шварцев, 1996).

Пробы отбирались из скважин глубиной от 100 до 160 м, а также из родников, характеризующих типы подземных вод выделяемые по условиям залегания (табл. 1).

**Таблица 1. Средний химический состав подземных вод региона**

Значения	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Общая мин-ция	pH	SiO <sub>2</sub>	Al <sup>3-</sup>	Li <sup>+</sup>	Fe	Cd <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Sr <sup>2+</sup>	Mn <sup>5+</sup>
	мг/л									мг/л				мкг/л						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
<b>Подземные воды Алтае-Саянской горно-складчатой гидрогеологической области</b>																				
Подземные воды зоны региональной трещиноватости коренных пород																				
Минимальное	4,0	0,9	19	5,6	97,6	0,5	8	77,0	6,0	1,5	0,02	2,3	0,07	0,03	0,64	0,02	1,2	12,2	0,1	12,73
Максимальное	40,4	1,5	60	22,4	288,1	3,0	58	550,0	7,5	4,8	0,06	9,1	3,08	0,09	6,43	0,13	19,3	36,7	3,3	68,12
Среднее	17,7	1,9	42	16,6	209,2	6,8	31	313,5	6,8	3,7	0,08	7,3	0,44	0,06	2,20	0,05	14,6	25,0	0,8	52,56
Число определений	105	105	105	105	105	105	105	105	105	99	102	102	95	102	102	102	102	101	103	101
Подземные воды разрывных тектонических нарушений																				
Минимальное	7,0	1,2	56	25,6	366,0	1,4	17	478,0	6,5	4,3	0,05	13,5	0,16	0,06	0,71	0,09	2,1	16,2	0,9	23,55
Максимальное	2,5	0,9	60	12,2	256,2	1,6	8	323,0	7,5	4,7	0,07	12,5	0,08	0,05	1,38	0,04	15,9	19,9	1,8	46,85
Среднее	4,8	1,1	58	18,9	311,1	1,5	13	400,5	7,0	4,5	0,06	13,1	0,12	0,06	1,05	0,07	9,1	18,3	1,4	35,20
Число определений	27	27	27	27	27	27	27	27	27	22	25	22	22	25	24	22	22	23	21	22
Подземные воды аллювиальных отложений																				
Минимальное	5,0	0,8	30	5,0	222,0	0,3	6	88,0	6,5	1,8	0,02	6,5	0,07	0,01	0,17	0,01	0,1	7,9	0,5	35,58
Максимальное	10,2	2,0	72	18,8	271,0	18,2	103	527,0	7,6	5,8	0,08	9,5	0,59	0,03	1,92	0,08	1,3	25,2	0,9	46,56
Среднее	7,5	1,3	49	12,1	268,2	6,2	33	334,9	7,4	4,2	0,05	7,8	0,26	0,02	0,45	0,06	0,7	13,7	0,6	4,94
Число определений	103	103	103	103	103	103	103	103	103	99	98	101	99	101	101	99	102	100	99	103
<b>Западно-Сибирский мегабассейн</b>																				
Подземные воды Кулундино-Барнаульского артезианского бассейна																				
Минимальное	5,0	0,7	40	0,6	244,0	8,1	12	503,0	6,4	5,2	0,01	5,0	0,10	0,01	0,29	0,02	0,3	1,0	0,5	13,83
Максимальное	78,0	1,6	172	34,2	585,6	52,3	60	1349,0	9,5	21,0	0,09	58,3	9,58	0,18	5,31	0,12	31,2	61,0	2,7	36,81
Среднее	41,5	1,2	106	17,4	383,5	30,2	67	718,1	8,0	7,3	0,05	31,7	4,84	0,07	2,80	0,07	8,9	16,6	1,6	23,46
Число определений	115	115	115	115	115	115	115	115	115	112	111	111	109	111	113	110	115	115	113	115

На основе результатов химических анализов проб подземных вод выделены средние статистические характеристики содержаний компонентов общего химического и микрокомпонентного состава каждого водопункта, где велись режимные наблюдения за период с 1989 по 2007 гг. Обобщение собранного материала показало, что в районе распространены воды гидрокарбонатные кальциевые (натриевые) с минерализацией от 0,1 до 0,9 г/л и со значением рН от 6,0 до 8,8.

**Распространение химических элементов в подземных водах.** Состав подземных вод в различных водопунктах зависит от интенсивности водообмена и от литологического состава водовмещающих пород.

При снижении значений модуля подземного стока (снижении интенсивности водообмена), абсолютных отметок земной поверхности, уменьшении степени расчлененности рельефа и смене ландшафтных условий (от горно-луговых до горно-степных) происходит увеличение общей минерализации подземных вод, но при этом рост содержаний большей части химических элементов не является равномерным, а носит сложный характер. Изменения значений модуля подземного стока закономерно уменьшаются от горно-луговых до горно-степных.

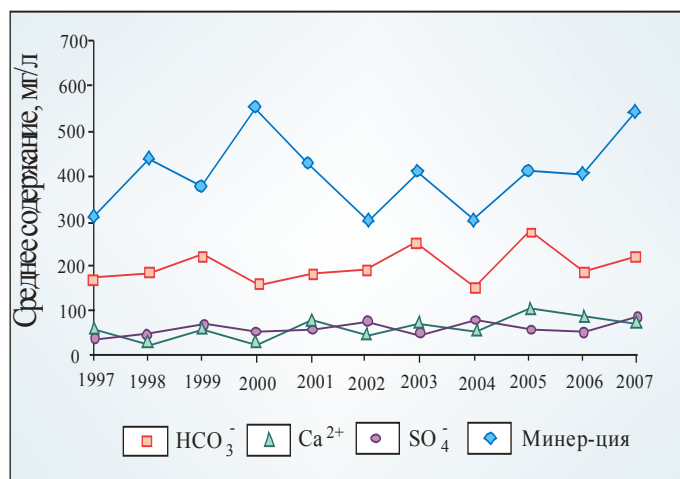
Воды с наименьшей минерализацией (менее 0,3 г/л) характерны для высокогорной части, где развит наиболее интенсивный водообмен (МПС равен более 10 л/с·км<sup>2</sup>); рН подземных вод горно-луговой зоны изменяется в пределах от 6,5 до 7,0. В горно-лесной зоне интенсивность водообмена уменьшается (МПС до 5 л/с·км<sup>2</sup>), в среднем минерализация увеличивается (до 750 мг/л); рН изменяется от 6,6 до 8,1. В горно-степной зоне минерализация находится в пределах от 616 до 1400 мг/л; рН от 7,1 до 9,6. Модуль подземного стока (МПС) до 1 – 2 л/с·км<sup>2</sup>.

Подземные воды различных ландшафтных зон отличаются содержанием различных компонентов ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , Fe и др.); их концентрации повышаются по направлению течения р. Катунь, но до определенного предела. Например, содержание  $\text{Ca}^{2+}$  достигает геохимического барьера в горно-степной зоне, где он высаживается и образует кальцит. Это происходит по мере уменьшения модуля подземного стока (интенсивности водообмена), и увеличения времени взаимодействия воды с породой.

Изучение **временных изменений состава рассматриваемых вод** проводилось с применением вероятностно-статистических методов.

Выявлено, что режим подземных вод в бассейне р. Катунь определяется естественными режимобразующими факторами. На этом фоне в ряде скважин и родников минерализация, особенно в районе более активного водообмена, может понижаться за счет повышения количества выпадающих атмосферных осадков в весеннее и осеннее время.

Приведенная характеристика изменения химического состава во времени подтверждает, что каждая структура имеет свои геохимические особенности, которые претерпевают изменения под влиянием многих факторов (рис. 1).



**Рис. 1.** Изменение состава подземных вод во времени

Следует отметить, что водоотбор из некоторых скважин (если это не самоизлив) способствует активизации гидродинамической системы, усиливает скорости движения воды и улучшает водообмен. Это ведет к уменьшению времени взаимодействия воды с горными породами, что приводит к уменьшению ее минерализации. Это относится к таким геохимическим показателям, как pH, Eh, содержание металлов, биогенных элементов и так далее.

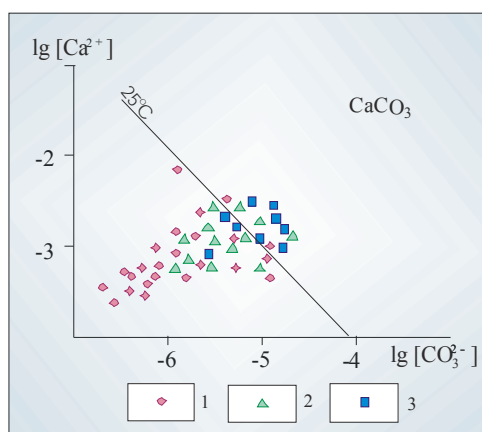
**Основные формы миграции химических элементов в подземных водах региона.** Формирование подземных вод невозможно рассмотреть без учета комплексообразования. Нами было рассчитано комплексообразование для 52 водопунктов.

В рассматриваемом регионе, по результатам расчетов автора, с повышением минерализации воды доля мигрирующего как макро-, так и микрокомпонента от их общего количества уменьшается. Например: Ca<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, F<sup>-</sup>, Cu, Pb, Cd, Li и Zn мигрируют преимущественно в ионной форме, которая составляет 95 – 99 %, а для Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> и SiO<sub>2</sub> они практически не изменяются. В то же время, для Al<sup>3+</sup> в условиях слабощелочной среды миграционной формой является продукт диссоциации Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>, реже Al(OH)<sub>2</sub><sup>+</sup>, для Si<sup>4+</sup> – H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>, для Hg<sup>2+</sup> – Hg(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub><sup>2+</sup>.

Анализ приведенного материала показывает, что массопотоки отдельных химических элементов в подземных водах теснейшим образом связаны с интенсивностью водообмена, геолого-географическими условиями, а также с литологическим составом дренируемых горных пород.

**Равновесие подземных вод с карбонатными и алюмосиликатными минералами.** Степень насыщения подземных вод по отношению к кальциту определяется по произведению растворимости его ионов в соответствии с реакцией: CaCO<sub>3</sub>=Ca<sup>2+</sup>+CO<sub>3</sub><sup>-</sup>, константа которой для температуры 25<sup>0</sup>C равна 10<sup>-8,34</sup> (Гаррелс, Крайст, 1968). Анализ диаграмм степени насыщения показал, что пресные подземные воды горно-луговой зоны, в большинстве случаев,

не насыщены по отношению к этому минералу благодаря пониженным значениям минерализации, рН и низкой активностью иона  $\text{Ca}^{2+}$ . По мере снижения активности водообмена происходит накопление кальция в подземных водах горно-лесной, а затем и горно-степной зон, где достигается насыщение относительно кальцита (рис. 2), который выпадает в осадок на образующемся карбонатном геохимическом барьере. Тогда доминирующим в растворе становится ион натрия, у которого в этих геохимических условиях нет контролирующей реакции.



**Рис. 2.** Степень насыщения подземных вод относительно кальцита при 25<sup>0</sup>С:  
1 – горно-луговая; 2 – горно-лесная; 3 – горно-степная зона

Воды известняков по сравнению с водами алюмосиликатов в большей степени обогащены карбонатными солями кальция и по мере движения от горно-луговой до горно-степной ландшафтной зоны достигают равновесия с кальцитом, т. е. по мере увеличения времени взаимодействия воды с породой наступает насыщение подземных вод с кальцитом.

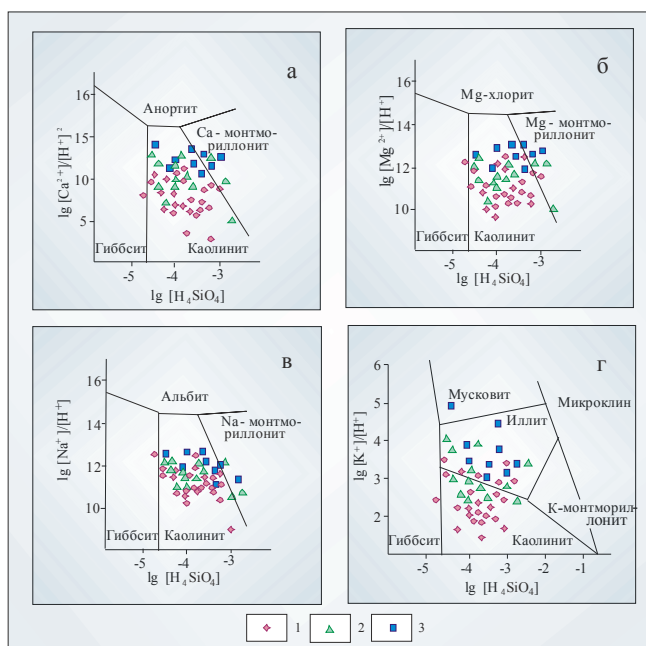
В общем случае кальцит начинает выпадать при достижении минерализации  $\approx 600$  мг/л и  $\text{pH} \approx 7,3$  (Шварцев, 1991).

В результате проведенных термодинамических расчетов установлено, что в районе исследований не все воды насыщены относительно кальцита. Пресные воды горно-луговой зоны в большинстве случаев не насыщены относительно кальцита, а подземные воды, развитые в горно-степной зоне, наоборот, практически все насыщены относительно кальцита и способны высаживать его в виде вторичного минерала.

Формирование на протяжении всего времени карбонатных минералов носит закономерный характер, который определяется такими параметрами гидрогеологической среды как рН, температура, минерализация подземных вод и время взаимодействия воды с породой.

Изучение характера равновесия воды с алюмосиликатными минералами показало, что независимо от выбранных координат все точки располагаются в поле устойчивости глинистых минералов (рис. 3). Степень насыщения подземных вод относительно основных породообразующих минералов алюмосиликатных пород можно выяснить посредством нанесения данных по составу вод на диаграммы устойчивости алюмосиликатов. В

данном случае подтверждается принцип, обоснованный С.Л. Шварцевым (1991) о равновесно-неравновесном характере системы вода-порода. Это принципиальное положение так же свидетельствует о том, что вода независимо от глубины залегания, рН, температуры, геохимической среды, состава вмещающих пород растворяет одни минералы и формирует другие, которые выпадают из раствора. К последним в регионе, по нашим данным, относятся в подавляющем большинстве глинистые минералы и кальцит. Таким образом, пресные воды бассейна среднего и нижнего течения р. Катунь неравновесны с первичными алюмосиликатами (рис. 3), которые служат источником химических элементов и, в частности, кальция на всех этапах взаимодействия воды с горными породами.



**Рис. 3.** Диаграммы равновесия систем при 25°C с нанесением средних значений для основных ландшафтных зон: а – анортит-гиббсит-каолинит-Са-монтмориллонит; б – Mg-хлорит-гиббсит-каолинит- Mg- монтмориллонит; в – альбит-каолинит-Na-монтмориллонит; г – микроклин-мусковит-гиббсит- каолинит-иллит-К-монтмориллонит. Условные обозначения см. рис. 2.

Анализ диаграмм (рис. 3) показал, что все подземные воды недонасыщены к первичным алюмосиликатным минералам. Так, в системе  $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3\text{-CO}_2\text{-SiO}_2$  (рис. 3а) изученные нами воды достаточно разнородны по содержанию Са и  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ . Большинство подземных вод располагаются в области устойчивости каолинита, только несколько точек близки к равновесию или равновесны с Са-монтмариллонитом. Такое расположение точек объясняется тем, что при высоких значениях рН растворимость кремнекислоты тоже повышается, что и способствует перемещению точек содового типа в сторону насыщения монтмориллонитом, который связывает в своем составе больше  $\text{SiO}_2$ , чем каолинит.

На рис. 3б приведена диаграмма полей устойчивости в зависимости от активностей в воде магния, кремнекислоты и pH. Практически все воды пресные, поэтому основная масса находится в области устойчивости с каолинитом.

В системе  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$  (рис. 3в) степень насыщения подземных вод относительно натриевых минералов устанавливается по равновесиям между альбитом, каолинитом, гиббситом и Na-монтмориллонитом. Подземные воды в основном находятся в равновесном состоянии по отношению к каолиниту; лишь несколько точек располагаются на границе с Na-монтмориллонитом. Однако, ни одна точка не попадает в область равновесия с альбитом.

В поле устойчивости гиббсита оказывается минимальное количество проб воды, его образование возможно только на участках наиболее активного водообмена. Положение точек в системе  $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O-SiO}_2$  (рис. 3г) свидетельствует, что в данных гидрогеохимических условиях подземные воды формируют преимущественно каолинит и иллит. Гидрослюда устойчива в более щелочных или в более богатых калием растворах. Образованию K-монтмориллонита здесь препятствует низкая активность  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ . Относительно первичных алюмосиликатов (мусковита и микроклина) воды сильно недонасыщены.

**Геохимические типы подземных вод.** Химический состав подземных вод региона разнообразен, поэтому существует необходимость их систематизации. В гидрогеологии обычно выделяют химические типы вод по преобладающим анионам и катионам; среди многочисленных классификаций широко известны классификации О.А. Алекина, М.Г. Валяшко, В.А. Сулина, С.А. Щукарева и др. Но по этим классификациям все воды региона однотипны, так как их специфика не проявляется.

Подход к выделению геохимических типов (минералов) воды предложен С.Л. Шварцевым (1998). Он частично строится на принципах В.И. Вернадского. В основу классификации положена зависимость между составом воды (произведение активностей отдельных групп химических компонентов; значения pH и Eh) и составом продуктов выветривания. Эта зависимость определяется фундаментальными законами термодинамики. Переход одного геохимического типа в другой контролируется характером изменения параметров геохимической среды, составом водного раствора и интенсивностью водообмена.

Важный новый механизм перераспределения химических элементов между твердыми фазами через водный раствор помогает выделить в рассматриваемом районе четыре геохимических типа подземных вод. В горно-луговой зоне региона под влиянием активного водообмена, где модуль подземного стока максимален, а время взаимодействия системы вода-порода минимально (в основном это склоны долин) происходит формирование кислого железисто-алюминиевого геохимического типа (табл. 2).

В следующей по площадному распространению ландшафтной зоне – горно-лесной, начинает формироваться алюминиево-кремнистый геохимический тип, который имеет достаточно большое распространение в районе исследований и связан он с моносиаллитным типом выветривания. Модуль подземного стока до 3 л/с·км<sup>2</sup>. Эта обменная система действует до тех пор, пока не приведет к достижению равновесия в растворе с глинистыми минералами (каолинит, иллит и др.), т. е. пока тип выветривания не сменится на биссиаллитный, где формируется кремнисто-Na, Mg, Ca геохимический тип подземных вод; относятся эти воды к следующей горно-степной ландшафтной зоне, где МПА = 1 – 2 л/с·км<sup>2</sup>. В отдельных районах горно-степной зоны находятся воды, которые равновесны по отношению к кальциту, это свидетельствует о начальном этапе формирования четвертого геохимического типа – щелочного карбонатно-кальциевого (содового), в условиях минимального водообмена.

**Таблица 2.** Геохимические типы подземных вод региона

Геохимические типы вод	Геохимический тип выветривания	Контролирующие показатели	Необходимое химическое условие	Характеристика подземных вод	Ландшафты Горного Алтая	Модуль подз. стока л/с·км <sup>2</sup>	Минер-ция, г/л	pH
Кислый железисто-алюминиевый	Латеритный	Al, Fe, Mn, pH	Равновесие с гидроксидами Al, Fe, Mn	Ультрапресные, кислые и слабокислые, окислительные, SiO <sub>2</sub> < 5 мг/л	Горно-луговой	до 5	0,07 – 0,2	4 – 6,5
Алюминиево-кремнистый	Моносиаллитный	Al, Si, pH	Равновесие с каолинитом	Пресные, слабокислые и нейтральные, SiO <sub>2</sub> > 5 мг/л	Горно-лесной	1 - 3	0,2 – 0,4	6 – 7,2
Кремнисто-Na, Mg, Ca	Биссиаллитный	Si, Na, Mg, Ca, K, pH	Равновесие с минералами групп монтмориллонитов	Пресные и солоноватые, нейтральные и слабощелочные, SiO <sub>2</sub> 10 – 60 мг/л (от pH и содержания катионов)	Горно-степной	1 – 2	0,4 – 0,6	7 – 8,0
Щелочной карбонатно-кальциевый (содовый)	Карбонатообразование	Ca, HCO <sub>3</sub> , pH	Равновесие с кальцитом	Щелочные пресные и слабосоленоватые (0,6 – 1,5 г/л)		0,2 – 1	0,6 – 1,5	7,4 – 8,6

Таким образом, состав подземных вод региона формируется в определенной геохимической среде, определяемой интенсивностью водообмена и ландшафтными особенностями территории.

***Особенности формирования химического состава подземных вод.***

Этому вопросу посвящены многие работы О.А. Алекина, С.В. Алексеева, В.А. Алексеенко, Е.А. Баскова, В.И. Вернадского, А.И. Гавришина, А.Я. Гаева, К.П. Караванова, В.А. Кирюхина, С.Р. Крайнова, И.С. Ломоносова, В.М. Матусевича, А.А. Махнача, А.М. Овчинникова, Е.В. Пиннекера, К.Е. Питьевой, Б.И. Писарского, А.М. Плюснина, Е.В. Посохова, Б.Н. Рыженко, Л.С. Табаксблата, Н.И. Толстихина, О.В. Чудаева, В.М. Швеца, Л.В. Заманы, Б.И. Шестакова и мн. др.



Изучение геохимических закономерностей формирования химического состава подземных вод в регионе занимались многие исследователи, прежде всего С.Л. Шварцев, В.С. Кусковский, Е.М. Дутова, Н.М. Рассказова, А.А. Лукин, Д.С. Покровский, Н.А. Росляков и др.

Формирование состава подземных вод начинается в атмосфере и продолжается в почвах и горных породах до тех пор, пока вода не окажется в области разгрузки и не покинет горные породы.

Основными источниками химических элементов в данном регионе являются горные породы, а также частично атмосферные осадки и почвенно-растительный слой. В районе исследований сложились гидрогеологические условия, способствующие быстрому проникновению атмосферных осадков на глубины, при которых исключается испарение, а это способствует формированию пресных подземных вод и распространению их по всему разрезу.

Еще на стадии атмогенного и биогенного этапов формирования прослеживается некоторое обогащение природных вод химическими элементами.

На литологическом этапе происходит взаимодействие воды с горными породами в системе вода-порода. При этом растворимость карбонатов значительно выше, чем у большинства алюмосиликатов, их растворение происходит быстрее. Параллельно идет процесс инконгруэнтного растворения нестойких в зоне гипергенеза алюмосиликатов типа анортита, роговой обманки, пироксенов и так далее.

В целом, в районе установлено, что вынос солей преобладает над привнесом, а это определяет значительную проницаемость водовмещающих пород в верхней части разреза. В этих условиях химический состав подземных вод в значительной степени определяется сравнительно малым временем взаимодействия воды с горными породами. Карбонатный состав водовмещающих пород способствует обогащению вод кальцием и появлению гидрокарбонатных кальциевых вод. Формированию этого типа вод способствует хорошая расчлененность рельефа и активный водообмен.

Концентрирующийся кальций постепенно достигает равновесия с ионом  $\text{CO}_3$ , образуя вторичные карбонатные образования (кальцит, доломит). При увеличении времени взаимодействия с алюмосиликатными горными породами насыщенные к карбонатам подземные воды начинают в своем составе концентрировать натрий, высаживая кальций. Мигрируя по трещиноватым алюмосиликатным породам подземные воды в условиях инконгруэнтного растворения этих пород образуют вторичные минеральные продукты. В подземных водах горно-степной, горно-лесной зоны значительную роль играет взаимодействие подземных вод с алюмосиликатами и кальций вовлекается в состав вторичных глинистых алюмосиликатов из первичных алюмосиликатов при их инконгруэнтном растворении.

## Глава 6. ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД БАСЕЙНА СРЕДНЕГО И НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. КАТУНЬ

В главе приведены результаты анализа эколого-геохимического состояния подземных вод района исследований, охарактеризована степень их загрязнения. Выделены основные элементы, снижающие качество подземных вод района исследования.

Зона активного водообмена района исследований в наибольшей степени подвержена влиянию техногенных факторов. Поэтому вопрос о современном эколого-геохимическом состоянии приобрел особо актуальное значение.

Исходя из этого, нами выполнена оценка качества вод с позиций санитарно-гигиенического нормирования.

Подземные воды бассейна среднего и нижнего течения р. Катунь отвечают в основном установленным нормативным требованиям (СанПиН 2.1.4.1074-01), исключения составляют содержания железа и ртути, по которым в единичных случаях наблюдается превышение по ПДК.

Проведенный анализ собранного материала позволил установить, что от горно-луговой до горно-степной ландшафтной зоны наблюдается увеличение содержания ряда компонентов ( $\text{HCO}_3^-$ , Cl, Na,  $\text{NO}_3^-$  и др.).

На основании всего выше сказанного можно отметить, что абсолютно четко прослеживается изменение качества подземных вод по направлению снижения значений модуля стока бассейна среднего и нижнего течения р. Катунь.

Несоответствие вод необходимому качеству носит в основном природный, поэтому с эколого-геохимических позиций подземные воды в зависимости от показателей качества и степени изменения их состояния, оцениваются, как незагрязненные (чистые) и только в единичных случаях как слабозагрязненные.

В регионе используются подземные воды в основном пригодные для питьевых целей, но необходимо помнить, что они содержат огромный ряд элементов, которые могут влиять на организм человека как положительно, так и отрицательно.

Исходя из этого, нами была проведена оценка подземных вод хозяйственно-питьевого назначения района исследований на предмет их физиологической полноценности по методике, разработанной в НИИ экологии человека и гигиены им. Ф.Ф. Эрсмана (Каяц, 2003).

Согласно методике рассчитан коэффициент оптимальности ( $K_{\text{опт}}$ ). Он представляет собой аддитивную сумму отношений реальных концентраций макрокомпонентов и показателей в воде к их оптимальным величинам:

$$K_{\text{опт}} = \left( \frac{I}{I_{\text{опт}}} + \frac{Na}{Na_{\text{опт}}} + \frac{Mg}{Mg_{\text{опт}}} + \frac{SO_4}{SO_{4\text{опт}}} + \frac{Cl}{Cl_{\text{опт}}} + \frac{A}{A_{\text{опт}}} + \frac{F}{F_{\text{опт}}} \right) : 7 ;$$

Нами установлено, что критический (неоптимальный) состав вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения в районе, не выявлен ни в одном источнике, 20 % проанализированных вод имеют

малооптимальный состав и 80 % – оптимальный. Наиболее неблагоприятным фактором качества вод по физиологической полноценности в районе является их весьма низкие содержания фтора.

Обобщение всех используемых характеристик позволяет сделать вывод, что основная часть подземных вод в зоне активного водообмена района исследований относится к незагрязненным водам, а на участках с повышенной техногенной нагрузкой качество их ухудшается, и они переходят в слабозагрязненные.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате гидрогеологических и гидрогеохимических исследований установлены геохимические особенности подземных вод бассейна среднего и нижнего течения р. Катунь. Определена степень насыщенности подземных вод по отношению к основным минералам. В работе определены формы миграции макро- и микроэлементов:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Li}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Pb}$  и  $\text{Hg}$ . Установлены геохимические типы подземных вод и закономерности их распространения, рассмотрены и выявлены основные факторы формирования состава подземных вод зоны активного водообмена.

Подземные воды зоны активного водообмена региона в подавляющей части находятся на начальной стадии загрязнения и относятся к незагрязненным. В районах с повышенной техногенной нагрузкой состояние вод ухудшается, и они на локальных участках классифицируются как слабозагрязненные.

## **ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Мониторинг состояния насыщенности подземных вод бассейна среднего течения р. Катунь по отношению к карбонатам // Шестое Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу. Материалы совещания / Под ред. М.В. Кабанова. Томск, 2005. – С. 361 – 366.
2. Геоэкологические аспекты состояния природных вод среднего течения р. Катунь // Проблемы геологии, полезных ископаемых и рационального недропользования: Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 2005 г./ Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2005. – С. 13 – 15 (соавтор Рассказов Н.М.).
3. Содержание Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Pb в подземных водах бассейна среднего течения р. Катунь // Гидрогеология, инженерная геология и гидрогеоэкология: Материалы конференции, посвященной 75-летию кафедры ГИГЭ Томского политехнического университета / Под ред. С.Л. Шварцева. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – С. 235 – 243.
4. Оценка качества природных вод бассейна среднего течения р. Катунь // Питьевая вода Сибири - 2006: материалы III науч.-практ. конф., 18 – 19 мая 2006 г. – Барнаул, 2006. – С. 68 – 71.

5. Мониторинг состояния природных вод бассейна среднего течения р. Катунь // Антропогенная динамика природной среды. Том II, III Особо охраняемые природные территории; IV Экологический мониторинг; V Природоохранные технологии: Материалы Междунар. Науч.-практ. Конф. (16 – 20 окт. 2006 г., г. Пермь) / Пермь. Ун-т – Пермь: изд. Богатырев П.Г. 2006. – С. 228 – 234.
6. Геохимия подземных вод бассейна р. Катунь в ее среднем течении // Известия ТПУ. – 2006. – № 6. – Том 309. – С. 32 – 37 (соавтор Рассказов Н.М.).
7. Этапы формирования химического состава подземных вод бассейна среднего течения р. Катунь // Подземная гидросфера: Материалы Всероссийского совещания по подземным водам востока Сибири. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. – С. 87 – 90.
8. Равновесия подземных вод бассейна среднего течения р. Катунь с горными породами // Материалы VIII международной конференции «Новые идеи в науках о Земле», РГГРУ 10 – 13 апреля 2007 г., М.: Изд. РГГРУ. 2007. – С. 180 – 183.
9. Равновесия подземных вод бассейна среднего течения р. Катунь с алюмосиликатными минералами // Материалы Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды» 24 – 30 сентября 2007г., г. Иркутск; 2007. – С. 139 – 142.
10. Природные условия и мониторинг состояния природных вод бассейна среднего течения р. Катунь // «Геология в школе и вузе: Геология и цивилизация» (Материалы V Международной Конференции) / под ред. Е.М. Нестерова. – СПб.: Изд-во «Эпиграф», 2007. – С. 140 – 142.
11. Формы миграции элементов в подземных водах бассейна р. Катунь в ее среднем течении // Известия ТПУ. – 2007. – № 1. – Том 311. – С. 113 – 118 (соавтор Рассказов Н.М.).
12. Распространение геохимических типов подземных вод в бассейне р. Катунь (среднее течение) // Вестник ТГУ. – 2008. – № 8. – С. 174 – 181 (соавтор Рассказов Н.М.).
13. Оценка качества подземных вод бассейна среднего течения р. Катунь // Труды XII Международного научного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых им. академика М.А. Усова. Томск: ТПУ, – 2008. – С. 249 – 250 (соавтор Головачева К.В.).