

На правах рукописи



Никитенков Алексей Николаевич

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНОГО СТОКА
СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ**

Специальность 25.00.07 – Гидрогеология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2010

Работа выполнена в Национальном исследовательском Томском политехническом университете

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
Дутова Екатерина Матвеевна

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор, Попов Виктор Константинович

кандидат геолого-минералогических наук,
доцент, Макушин Юрий Васильевич

Ведущая организация: Управление по недропользованию по
Кемеровской области

Защита диссертации состоится "28" декабря 2010 г. в 15 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций ДМ 212.269.03 при Национальном исследовательском Томском политехническом университете по адресу: 634034, г. Томск, проспект Ленина 2, строение 5, корп. 20, ауд. 504.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ГОУ ВПО НИ ТПУ (634050, г. Томск, ул. Белинского, 55).

Автореферат разослан "26" ноября 2010 г.

Ученый секретарь
совета по защите докторских
и кандидатских диссертаций, к.г.-м.н.



О.Е. Лепокурова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Характеристики подземного стока широко используются при решении множества теоретических и прикладных задач, связанных с изучением закономерностей распространения и формирования подземных вод, поисками и разведкой месторождений, комплексным и рациональным использованием водных ресурсов, решением водно-экологических проблем, эксплуатацией недр и др.

Проблема оценки качественных и количественных характеристик водных ресурсов в пределах горнорудных территорий стоит очень остро и приобретает особое значение, в связи с необходимостью обеспечения баланса между развитием добывающей промышленности и соблюдением природоохранных норм. Вместе с тем, горные территории являются слабо исследованными с позиций формирования подземного стока.

Существующие методы оценки стока базируются на анализе гидрометрических данных, получение которых в натурных условиях требует организации стационарных постов и проведения трудоемких, длительных, дорогостоящих полевых работ, что реально возможно только для крупных водосборных бассейнов. В этой связи для территорий, характеризующихся слабой гидрогеологической изученностью, весьма актуальными становятся методические приемы оценки взаимосвязи характеристик стока и параметров определяющих их факторов, создаваемые на основе современных компьютерных и геоинформационных технологий. Среди морфометрических параметров водосборов могут быть высотные характеристики рельефа, определяющие количество атмосферных осадков, уклоны поверхности, определяющие скорости движения вод, и проч. Установленные на основе данных единичных створов стационарных гидрометрических постов с помощью средств современных ГИС-технологий взаимосвязи могут использоваться для определения характеристик стока на аналогичных, но слабо изученных территориях. В качестве объекта исследований нами выбрана находящаяся в мало измененных природных условиях северная часть Кузнецкого Алатау, где, помимо многолетних наблюдений на стационарных гидрологических постах, проводились гидрогеологические и гидрометрические исследования, позволяющие с достаточной детальностью выявить основные закономерности формирования подземного стока.

Цель работы - выявление закономерностей формирования подземного стока северной части Кузнецкого Алатау с использованием современных геоинформационных технологий.

Основные задачи:

- собрать фактический материал, провести гидрологические расчеты и оценить характеристики подземного стока;
- провести анализ и обосновать набор факторов формирования подземного стока;
- создать цифровую модель рельефа и на ее основе построить карты порядков речных долин, базисных поверхностей, водосборов;

- установить взаимосвязи характеристик подземного стока и количественных оценок природных факторов;
- усовершенствовать приемы оценки и картирования характеристик подземного стока для горно-складчатых областей;
- показать примеры использования характеристик подземного стока для решения прикладных задач.

Исходные материалы и методика исследований. В основу работы положены фактические материалы, собранные в ходе исследований, проводимых сотрудниками кафедры ГИГЭ ИГНД Томского политехнического университета, данные космического зондирования Земли по программе SRTM, многолетние данные Росгидромета (10 гидрологических постов) и материалы гидрометрической съемки в пределах объекта детальных исследований (более 200 створов).

Методика исследований включает в себя обработку, анализ и интерпретацию данных с применением современных ГИС-технологий, статистического и регрессионного анализа и физико-химического моделирования. Для обработки, анализа и интерпретации пространственных параметров задействованы программные комплексы Surfer, ArcView 3.2a, ArcGIS 9, Ilwis 3.5 Open и программа по сшивке SRTM данных, созданная средствами BDS 2006. Для статистического анализа и регрессионного анализа использовались программы Microsoft Excel и Statistica. Промежуточные расчеты производились встроенными возможностями Microsoft Excel, а также с использованием расчетных макросов, созданных с использованием Visual Basic for Applications. Физико-химическое моделирование процессов взаимодействия в системе вода-порода осуществлялось средствами программного комплекса HydroGeo.

Личный вклад автора. Автором осуществлены сбор, анализ и обработка фактического материала по району исследований; с использованием специализированных программных модулей, созданных в рамках выполнения работы на языках программирования C++ и Visual Basic, проведен статистический анализ и обработка гидрологических и пространственных данных; с использованием ГИС-технологий выполнены картографические построения, интерпретированы результаты работы и сформулированы выводы.

Научная новизна. Впервые для района исследований детально определены значения и пространственная изменчивость модулей стока подземных вод и произведена оценка интенсивности водообмена на различных уровнях дренирования. Установлены функциональные зависимости, описывающие связь подземного стока и определяющих его факторов. Предложены методические подходы к оценке и картированию подземного стока в условиях слабо изученных горно-складчатых территорий.

Основные защищаемые положения.

1. Формирование подземного стока в пределах северной части Кузнецкого Алатау обуславливается преимущественно природными факторами, среди которых ведущую роль играют высотно-климатические, геоморфологические, геологические и гидрогеологические условия,

определяющие величину питания, долю инфильтрации, проницаемость пород, глубину и направление миграции подземных вод. Пространственная изменчивость величины модуля подземного стока поддается анализу и функциональному описанию через количественные оценки природных факторов (количество атмосферных осадков, гипсометрические и морфометрические параметры водосборов и величины проницаемости пород).

2. Подземный сток рек разных порядков отражает иерархической характер разгрузки подземных вод. Подземные воды самых верхних частей геологического разреза, характеризующегося наиболее высокими фильтрационными свойствами, дренируются реками первых порядков, подземные воды большей мощности, в том числе и более глубоких частей геологического разреза, характеризующиеся относительно низкими фильтрационными свойствами, дренируются реками высоких порядков. С увеличением порядка дрены наблюдается уменьшение величины модуля подземного стока.

3. Технология оценки и картирования подземного стока горно-складчатых областей, базирующаяся на использовании взаимосвязей характеристик подземного стока по единичным створам стационарных гидрометрических постов и количественных оценок природных факторов, полученных с помощью средств современных ГИС-технологий, для определения характеристик стока на аналогичных, но не охваченных гидрометрическими постами территориях.

Практическая значимость работы заключается в:

- усовершенствовании приемов оценки и картирования характеристик подземного стока для горно-складчатых областей;

- создании электронных карт базисных поверхностей различных уровней дренирования, которые можно использовать для определения направления миграции подземных вод и вещества (загрязнителя или элементов потоков рассеяния от источников оруденения) при гидрогеохимических, экологических или поисковых исследованиях;

- создании электронных карт модулей подземного стока различных уровней дренирования, которые можно использовать для решения водно-экологических задач и принятия грамотных управленческих решений в сфере водного хозяйства, водоснабжения; планирования развития населенных пунктов и горнодобывающих предприятий; минимизации экологического ущерба.

Апробация работы: основные положения работы докладывались на Международных конференциях студентов и молодых учёных им. М.А. Усова (Томск, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009), Всероссийской конференции «Проблемы гидрогеологии инженерной геологии и гидрогеоэкологии» (Томск, 2010), Международной научно-практической конференции «Вода и окружающая среда» (Киев, 2009), Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Геоэкология и рациональное природопользование: от науки к практике» (Белгород, 2007), Международной экологической студенческой конференции «Экология России и сопредельных

территорий. Экологический катализ» (Новосибирск, 2005), XI Всероссийской студенческой научной конференции «Экология и проблемы охраны окружающей среды» (Красноярск, 2004), Международной конференции «Научные основы сохранения водосборных бассейнов: междисциплинарные подходы к управлению природными ресурсами» (Улан-Удэ, 2004).

Результаты исследований были использованы при выполнении работ в рамках проекта РФФИ 07-05-12005-офи, гранта «Разработка методики расчета подземного стока малых водосборов в горных районах на основе морфоструктурно-гидрогеологического анализа» программы УМНИК (2007 г.), а также в отчетах по работам Сибирской гидрогеохимической школы (2006 г.).

Материалы опубликованы в печати – 14 работ, в том числе 2 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, и 2 – в зарубежных изданиях.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Общий объём 176 страниц, включая 61 рисунок, 20 таблиц, список литературы из 111 наименований.

Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю – Дутовой Екатерине Матвеевне, профессору кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ТПУ за научное руководство. Автор признателен сотрудникам геологических организаций А.А.Булатову, З.В.Лосевой, В.М.Людвигу, В.А.Льготину и Ю.В.Макушину за содействие в сборе фактического материала. Автор благодарит М.Б.Букаты, К.И.Кузеванова, А.Д.Назарова, Д.С.Покровского, Н.М.Рассказова, О.Г.Савичева за консультации по отдельным методическим вопросам, возникавшим в ходе выполнения работы, а также весь коллектив кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ТПУ за конструктивную критику, поддержку и помощь.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Состояние изученности проблемы исследований

Проблеме изучения подземного стока посвящены работы крупнейших отечественных и зарубежных гидрогеологов. Большой вклад внесли ученые, исследовавшие общие закономерности распространения и формирования естественных ресурсов подземных вод (Б.И.Куделин, Ф.А.Макаренко, В.А.Всеволожский, И.С.Зекцер, О.В.Попов) и подземного стока крупных регионов (Р.Г.Джамалов, И.В.Зеленин, В.И.Иодказис, В.А.Кирюхин, В.В.Кулаков, В.С.Кусковский, Н.А.Лебедева, С.Ш.Мирзаев, С.М.Мухамеджанов, М.Р.Никитин, Б.И.Писарский, Ж.С.Сыдыков, О.Н.Толстихин, А.П.Хаустов, Б.М.Шенькман, Н.Г.Шубенин), проводившие обобщения по проблемам общего круговорота воды на Земле (Б.Л.Личков, М.И.Львович, А.Н.Павлов, Е.В.Пиннекер, А.Е.Хотьков, С.Л.Шварцев) и режиму подземных вод (В.С.Ковалевский, А.А.Коноплянцев), исследовавшие взаимосвязи поверхностных и подземных вод (А.З.Амусья, А.М.Владимиров, Б.М.Доброумов, С.М.Семенова, Б.Л.Соколов, Н.С.Ратнер и др.), разрабатывавшие методы коли-

чественной оценки подземного стока (Г.Н. Каменский, Н.А. Плотников, М.К. Хабберт) и др.

Гидрологические, гидрогеологические и гидрогеохимические исследования в пределах Кузнецкого Алатау и сопредельных территорий проводились рядом производственных и научных организаций. Результаты исследований нашли отражение в отчетах, статьях, монографиях и диссертациях В.Я.Бычкова, Е.М.Дутовой, В.Г.Иванова, В.П.Карловой, Ю.Г.Копыловой, В.С.Кусковского, К.И.Кузеванова, З.В.Лосевой, А.А.Лукина, В.М.Людвига, Ю.В.Макушина, В.М.Матусевича, А.И.Петрова, Г.А.Плевако, Д.С.Покровского, В.К.Попова, О.В.Постниковой, Н.А.Рослякова, Н.М.Рассказова, Ж.Н.Савиной, О.Г.Савичева, Г.М.Рогова, П.А.Удодова, Л.Л.Шабынина, С.Л.Шварцева и многих других. Вместе с тем, несмотря длительный период исследований, закономерности распространения и формирования подземного стока региона изучены далеко не полно.

Развиваемые на кафедре гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии НИ ТПУ представления о соподчиненности факторов формирования подземных вод (С.Л.Шварцев), приемы их количественной оценки (Е.М.Дутова), положения морфоструктурно-гидрогеологического анализа (А.А.Лукин) в совокупности со средствами современных ГИС-технологий открывают принципиально новые возможности и для изучения закономерностей формирования подземного стока. Представленная работа является продолжением и развитием исследований и идей в этом направлении.

Глава 2. Природные условия, определяющие формирование подземного стока

Территория исследований, административно относящаяся к Кемеровской области и Республике Хакасия, находится в северо-восточной части Алтае-Саянской горной страны и представляет собой систему средневысотных, вытянутых в направлении с юга на север асимметричных горных хребтов.

Климат территории резко континентальный. При отрицательных среднегодовых температурах среднемесячные температуры составляют для января $-(15-22)^{\circ}\text{C}$, июля $16,5-16,9^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое количество осадков колеблется в широких пределах, составляя величины порядка 300–1200 мм.

Реки северной части Кузнецкого Алатау входят в систему реки Оби и принадлежат бассейнам рек Томи и Чулыма. Густота речной сети составляет $0,46-0,60 \text{ км/км}^2$. Питание рек преимущественно смешанное, в зимний период (с ноября по апрель) осуществляется исключительно за счет подземных вод.

Складчатые структуры сложены интенсивно дислоцированными и метаморфизованными терригенными, карбонатными, вулканогенными и интрузивными образованиями в возрастном диапазоне от нижнего рифея до нижнего девона включительно. До 40–50% территории занимают гранитоиды. Породы характеризуются преимущественным распространением трещинных, трещинно-карстовых и трещинно-жильных подземных вод, приуроченных, главным образом, к зоне экзогенной трещиноватости, имеющей региональное распространение. Коренные породы имеют относительно низкие фильтрационные свойства и водообильность, исключение составляют

закарстованные карбонатные породы и разнообразные, вне зависимости от литологического состава, породы в зонах тектонических нарушений. К долинам рек приурочены четвертичные аллювиальные отложения, вмещающие горизонты порово-пластовых вод.

Основными факторами формирования подземного стока являются особенности ландшафта (в первую очередь, рельеф), влияющие на величину выпадающих атмосферных осадков, и геологической среды, определяющей интенсивность инфильтрации и движения подземных вод. На основании данных положений и была выработана методика исследований формирования подземного стока.

Глава 3. Методика оценки подземного стока

Содержание методики условно можно подразделить на разделы, посвященные картографическим построениям; анализу и обработке морфометрических данных, получаемых при анализе цифровой модели рельефа (ЦМР); обработке и анализу гидрологических данных, а также методам математической статистики, используемым при выявлении закономерностей в формировании подземного стока.

При обработке гидрометрических данных были осуществлены заполнение недостающих данных за отдельные периоды времени (на основе подходов, описанных в СНиП 2.01.14-83, реализованных с использованием программных средств MS Excel и Visual Basic) и расчленение полученных среднееголетних гидрографов с использованием созданных вычислительных шаблонов, позволяющих автоматизировать вычисления требуемых характеристик стока.

Расчленение гидрографов, построенных по данным существующих гидрометрических постов (рис. 1), осуществлено с использованием классических подходов. Выделены поверхностная и подземная составляющие стока, причем в последней выделена глубинная часть, формирующаяся за счет наиболее глубоко залегающих

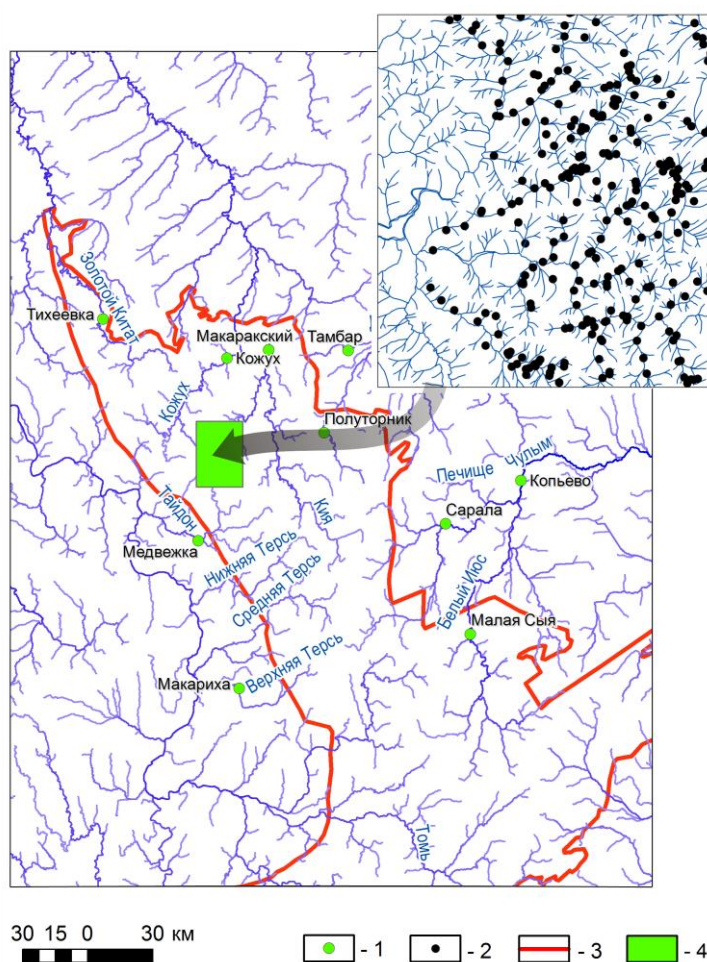


Рис. 1. Схема расположения гидрологических постов стационарной сети и гидрометрических створов объекта детальных исследований: 1 – гидрологический пост, 2 – гидрометрический створ, 3 – границы Кузнецкого Алатау, 4 – объект детальных исследований.

подземных вод.

При проведении исследований морфометрических особенностей территории использована ЦМР, созданная на основе данных, полученных в рамках программы SRTM (NASA, США). С ее помощью средствами ГИС Ilwis и ArcGIS были составлены карта порядков речных долин (рис. 2) и карты водосборных бассейнов различных порядков (рис. 3), а также проведена оценка

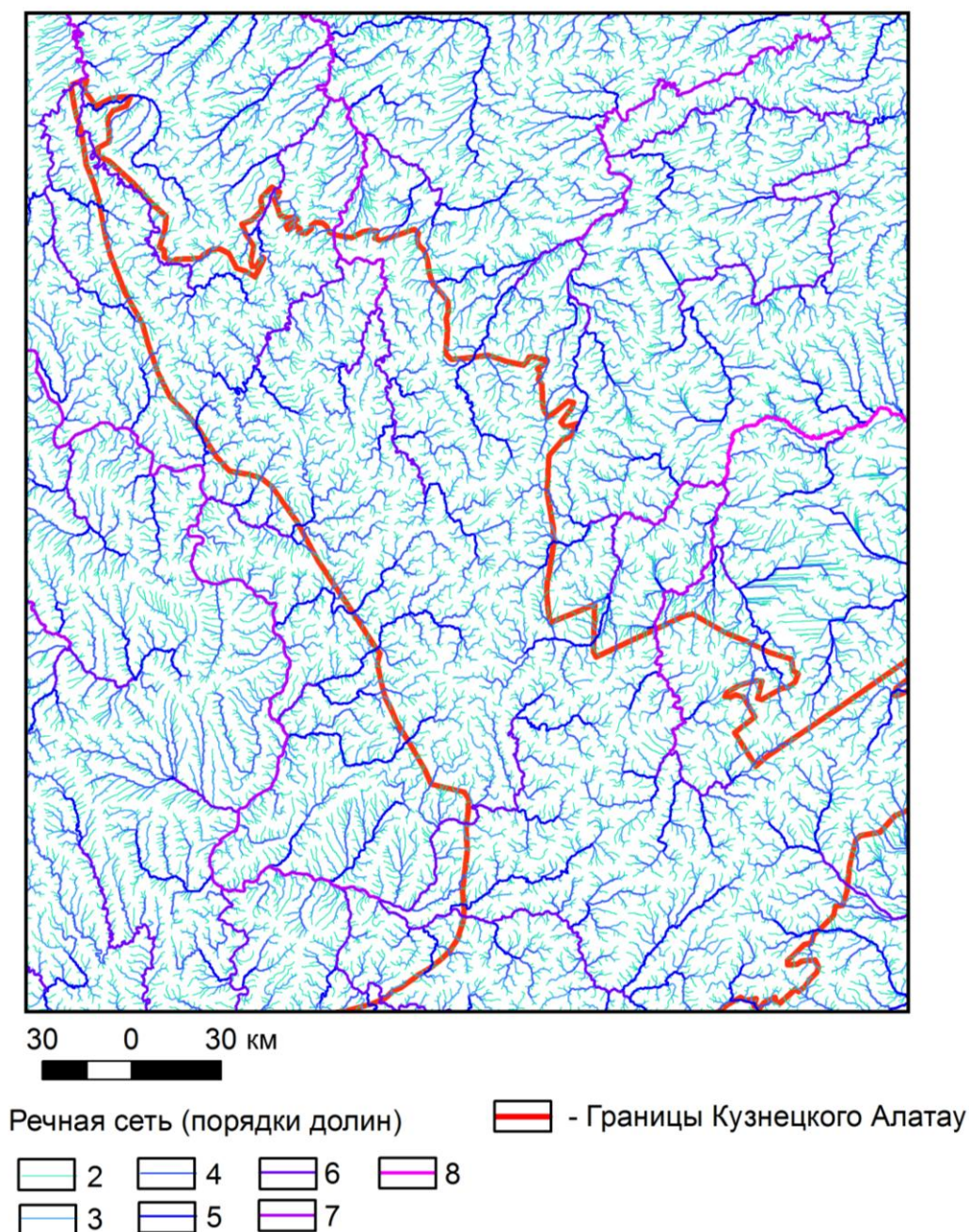


Рис. 2. Карта порядков речных долин

морфоструктурных параметров территории исследований.

Построение базисных поверхностей и анализ их взаимоотношений друг с другом и с дневной поверхностью осуществлены средствами ArcGIS с применением модуля Spatial Analyst Tools и интерполяции поверхности на основе точек пересечения речной сети с горизонталями рельефа методом IDW.

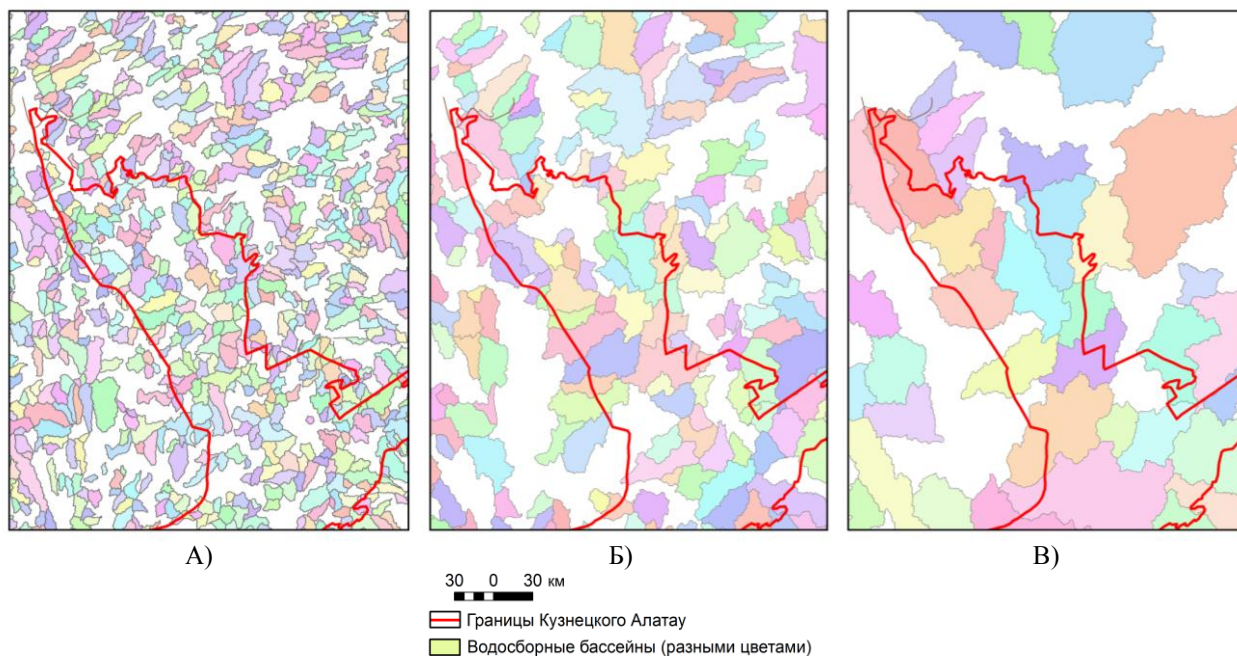


Рис. 3. Карты водосборных бассейнов 4-го (А), 5-го (Б) и 6-го (В) порядков

Детальное рассмотрение закономерностей формирования подземного стока и выявление зависимостей его величины от морфометрических параметров территории осуществлялось при рассмотрении Центральнинского гранитоидного массива.

Для учета влияния гидрогеологических особенностей территории на формирование подземного стока проведено районирование по слагающим её горным породам, в зависимости от литологического состава которых принимались условные значения проницаемости в балльной системе от 0,1 для гранитоидов до 1,0 для карбонатных пород. В дальнейшем усредненные значения проницаемости пород в пределах водосборов рассчитывались с учетом площадной распространенности тех или иных литологических разностей.

Учет климатических особенностей территории в формировании подземного стока осуществлен за счет оценки величин атмосферных осадков в пределах территории исследований. Исходными материалами послужили данные Росгидромета по величине осадков, а также данные по испарению, интерполированные с учетом их сопоставления с результатами расчленения гидрографов.

Для оценки связей между отдельными морфометрическими и гидрологическими величинами использован корреляционный анализ, а для компоновки выявленных в результате анализа закономерностей в единое уравнение – метод множественной линейной регрессии ("пакет анализа" Microsoft Excel).

Визуализация расчетных значений подземного стока осуществлялась средствами ГИС ArcGIS 9.2. Для этого было осуществлено вычисление его расчетных значений в отдельном столбце атрибутивной таблицы водосборных бассейнов при помощи инструмента Field Calculator с использованием системы ссылок на колонки, соответствующие переменным регрессионного уравнения.

Глава 4. Формирование подземного стока

Формирование подземного стока контролируется рядом соподчиненных природных факторов, среди которых ведущую роль играют высотно-климатические, геоморфологические, геологические и гидрогеологические условия, определяющие величину питания, долю инфильтрации, проницаемость пород, глубину и направление миграции подземных вод.

Сток подземных вод находится в сфере влияния современной речной сети. Воды зоны региональной трещиноватости, проникающие на глубины порядка 40-100 метров, соответствующие, примерно, врезу речных долин первых четырех порядков, характеризуются благоприятными условиями естественной разгрузки. Глубина миграции вод зон разрывных нарушений и трещинно-карстовых вод, распространенных в карбонатных, карбонатно-терригенных породах и, прежде всего, в их тектонических контактах с алюмосиликатными породами, достигает 100-150 метров, а иногда и более, что соответствует врезу долин больших порядков. Базисами стока являются русла рек, конфигурация речной сети и параметры водосборов определяют мощность зоны дренирования геологического разреза, пространственные формы фильтрационных потоков (базисных поверхностей) (рис. 4), взаимосвязи уровней стока (рис. 5). Базисные поверхности 2-4-го порядков в целом повторяют характер и форму рельефа, определяющего локальные направления движения подземных вод. Базисные поверхности более высоких уровней определяют региональные направления движения подземных вод в сторону Западно-Сибирского артезианского бассейна и Кузнецкой котловины. Анализ взаимоотношений уровней дренирования показывает весьма сложный характер гидрогеодинамического поля.

Результаты расчленения гидрографов, содержащие данные по величинам полного речного стока, его поверхностной и подземных составляющих, в обобщенном виде представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики стока рек северной части Кузнецкого Алатау

Характеристики стока	Система р. Томь		Система р. Чулым							
	Тайдон	Верхняя Терсь	Кожух	Кия	Дудет	Урюп	Чёрный Июс	Белый Июс	Чулым	Золотой Китат
Полный речной сток										
Сток за год, км ³	1,4	1,2	1,1	2,6	0,1	0,3	1,4	1,3	2,8	0,62
М, л/сек·км ²	35	37	25	27	5,6	20	15	12	8,5	16
Поверхностный сток										
Сток за год, км ³	1,2	1	0,92	2,1	0,1	0,2	1,2	1,1	2,3	0,55
М, л/сек·км ²	29	31	22	21	4,8	15	12	9,3	7,2	14
Весь подземный сток										
Сток за год, км ³	0,25	0,19	0,16	0,59	0,02	0,01	0,26	0,31	0,4	0,07
М, л/сек·км ²	6,1	5,9	3,7	5,5	0,77	4,5	2,6	2,8	1,3	1,8
Глубинная составляющая подземного стока										
Сток за год, км ³	0,19	0,09	0,11	0,38	0,01	0,06	0,16	0,19	0,28	0,04
М, л/сек·км ²	4,7	2,7	2,6	3,6	0,31	3,5	1,6	1,7	0,88	1

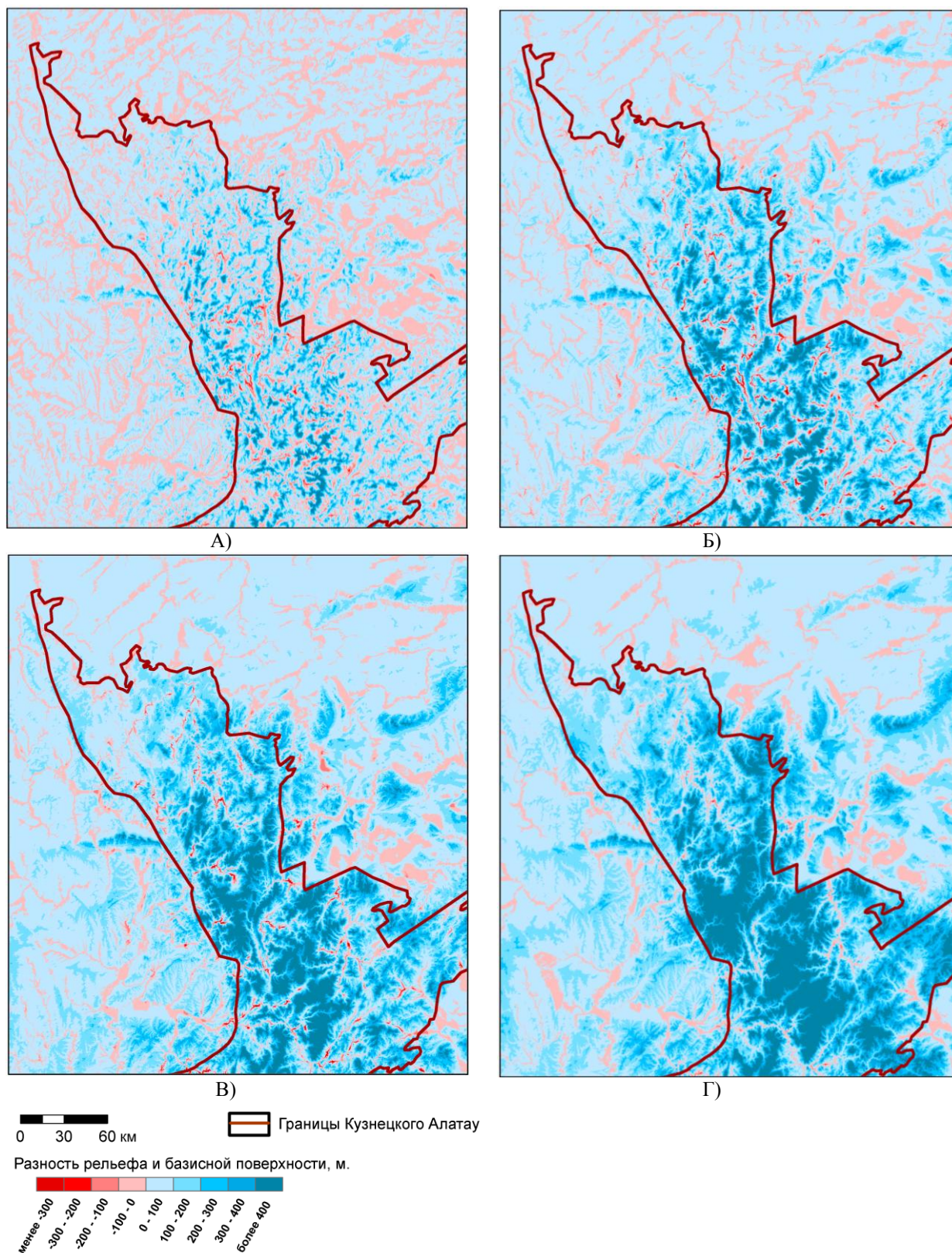


Рис. 5. Разности отметок рельефа и базисных поверхностей: 2-й (А), 3-й (Б), 4-й (В), 5-й (Г)

Модули стока водосборов рек восточных склонов составляют 8-17 л/с·км². В то же время, доля подземного стока в общем стоке для водосборов западных рек составляет в среднем 17 %, а на восточных склонах, при меньших абсолютных значениях модулей стока, доля подземной составляющей достигает 22 %. Это обусловлено, в первую очередь, большим, в сравнении с восточными склонами,

слоем атмосферных осадков, выпадающих на западе. Значительное влияние на соотношение составляющих стока оказывают и высотные условия водосборов: с ростом гипсометрических отметок водосборов доля подземного стока увеличивается.

Для всех рек района характерно четкое разделение водного режима на фазы весенне-летнего половодья и осенней и зимней межени, что наглядно показано на рис. 6.

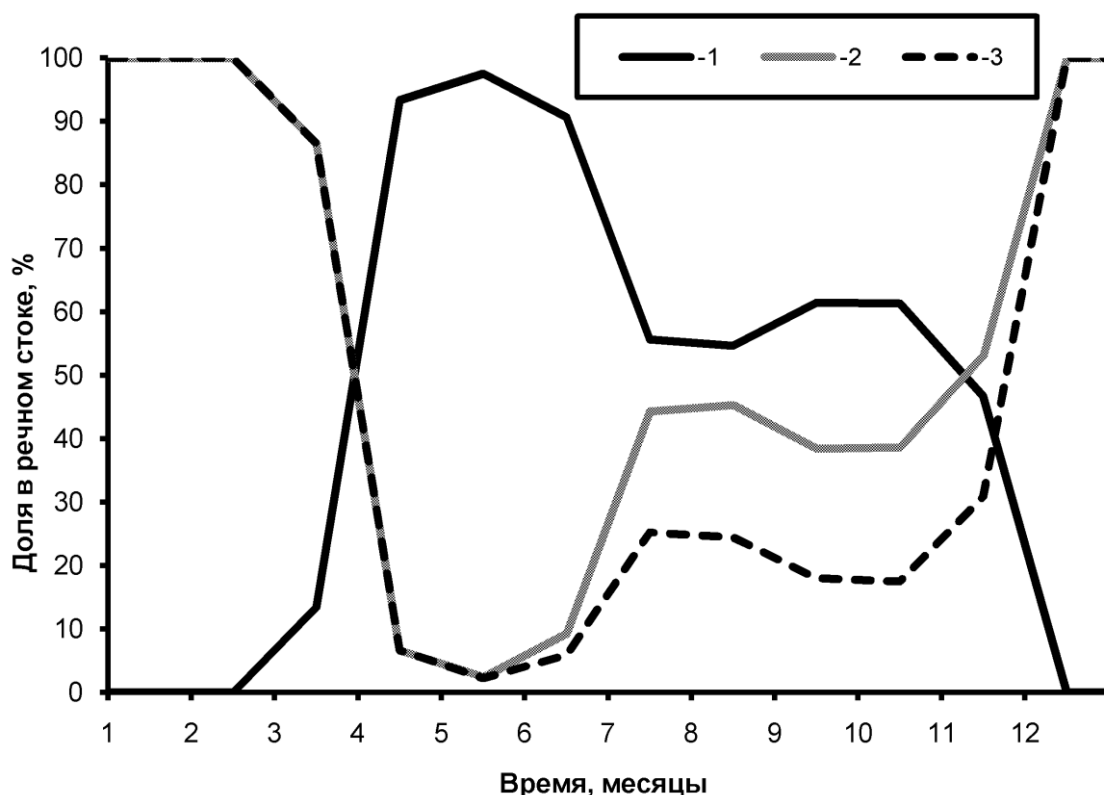


Рис. 6. Усредненное соотношение генетических составляющих речного стока: 1—поверхностный сток; 2—подземный сток; 3—глубинная составляющая подземного стока

Как видно из приведенного графика, поверхностная составляющая, формирующаяся за счет таяния снега и инфильтрации атмосферных осадков, доминирует в течение теплого времени года, достигая максимума в период весеннего половодья, приходящегося на апрель и май, и снижаясь вплоть до нуля ко времени установления зимней межени (ноябрь-декабрь). Подземный сток ведет себя в противофазе к поверхностному. Глубинная его составляющая большую часть года достигает половины подземного стока и полностью формируется в последние 2–3 месяца зимней межени. Доля глубинной составляющей определяется глубиной эрозионного вреза русел рек и особенностями гидрогеологических условий водосбора.

Речная сеть региона представлена водотоками от 1 до 7 порядка. Общее количество водосборов, по которым в результате морфометрического анализа получена детальная информация, составляет около 5000. Данные для водосборов, относящихся к стационарным гидрологическим постам (бассейны рек 5–7 порядков), в обобщенном виде представлены в таблице 2.

Таблица 2. Морфометрические параметры водосборов (от гидрологических постов)

Река	Площадь, км ²	Периметр, км	Длина основного потока, км	Отметки рельефа, абс. м			Превышение, м	Уклон	Плотность речной сети км/км ²	Число рек n-го порядка в пределах основного водосбора					
				Минимальные	Максимальные	Средние				2	3	4	5	6	7
Система р. Томь															
Тайдон	1234	181	64,3	180	1438	504	1258	0,011	0,5	159	38	5	2	1	-
Верхняя Терсь	986	190	99,1	174	1794	578	1620	0,0103	0,54	141	23	4	1	-	-
Среднее	1110	185,5	81,7	177	1616	541	1439	0,0107	0,52						
Система р. Чулым															
Золотой Китат	1314	187	90,2	193	566	338	373	0,0023	0,53	164	39	8	2	1	-
Кия	3317	348	172,5	203	1448	659	1245	0,0051	0,49	460	110	22	7	2	1
Дудет	487	108	52,9	297	893	460	596	0,0079	0,49	73	19	4	1	-	-
Урюп	480	122	56,5	405	1228	772	823	0,0101	0,46	65	14	4	1	-	-
Белый Июс	3587	284	121,1	475	2205	973	1730	0,0031	0,48	434	95	25	8	3	1
Черный Июс	3157	255	127	458	1664	848	1206	0,0064	0,53	417	91	19	4	2	1
Чулым	9887	604	227	374	2205	802	1831	0,0022	0,46	1423	321	75	19	6	2
Кожух	1780	253	117,2	202	942	433	740	0,0016	0,54	239	53	12	2	1	-
Среднее	2721	250	113,1	339	1347	660	1008	0,005	0,50						

Площади рассматриваемых водосборов при среднем значении 2080 км² разнятся более чем в 20 раз, от 480 км² для реки Урюп, представляющей собой типичную горную реку, до 9887 км² для реки Чулым, уже в среднем течении приобретающей черты равнинной реки. Средние высоты водосборов составляют от 338 до 973 м абс. при амплитудах колебаний отметок рельефа в пределах отдельных водосборов от 373 до 1831 м. Генерализованные уклоны речных русел различаются от 0,0016 до 0,0110. Наибольшие уклоны приходятся на водосборы бассейна реки Томи, что объясняется характером сочленения западного склона Кузнецкого Алатау с Кузнецкой впадиной.

Что касается водосборов рек 1-5 порядков, то большинство из них обеспечено детальной морфометрической информацией, а сведения о расходах имеются лишь для территории, покрытой гидрометрической съемкой. Обобщенные сведения о водосборах этой территории приведены в таблице 3.

Анализ данных позволяет утверждать, что большая доля разгрузки подземных вод связана с зоной интенсивной трещиноватости и осуществляется в местную речную сеть.

Таблица 3. Характеристики подземного стока и морфометрические параметры участка детальных исследований

Уровень дренирования (порядок долины)	Модуль меженного стока, л/с·км ²	Морфометрические параметры						Число точек наблюдений
		Уклон	Длина дрены, м	Ширина водосбора, м	Отметка питания, м	Отметка разгрузки, м	Мощность зоны дренирования, м	
1	8	0,098	410	134	547	500	40	38
2	6,3	0,076	764	319	560	501	60	45
3	5,9	0,061	1309	674	558	471	86	27
4	3,2	0,056	2478	1371	592	457	136	17
5	2,8	0,047	4469	1382	607	441	170	8

В среднем, в водотоки 1-го порядка разгружаются воды зоны трещиноватости, мощность которой около 40 м, а длина пути миграции вод от области питания до областей разгрузки составляет величины порядка 400м. В водотоки следующих порядков разгружаются воды зоны трещиноватости большей мощности и более длинных путей миграции. Для водотоков 3-го порядка эти величины равны 85 м и 1300 м, соответственно. Подземные воды, разгружающиеся в водотоках первых порядков, характеризуются и большими гидравлическими уклонами. Интенсивность водообмена в зоне региональной трещиноватости изменяется в довольно широких пределах, но, в целом, определяется характером рельефа. Наиболее интенсивный водообмен характерен для пород, дренируемых долинами первых порядков (средние значения модуля стока 8,0 – 6,3 л/с·км²). Значительно меньшие значения модуля стока для пород, дренируемых долинами 3-го и 4-го порядков, и минимальные – для пород, дренируемых долинами 4-го, 5-го порядков.

Тесная связь параметров рельефа с модулем стока подтверждается проведенным корреляционным анализом (табл. 4). Для всех модульных характеристик стока установлены значимые положительные связи с уклоном базисной поверхности и отрицательные – с площадью водосборов. Наиболее тесной связью с уклонами отличаются модули подземного стока (коэффициенты парной корреляции 0,71-0,76).

Таблица 4. Коэффициенты парной корреляции модулей стока и морфометрических параметров водосборов

Модули стока	Площадь	Периметр	Длина дрены	Отметки рельефа			Мощность зоны дренирования	Уклон
				Минимальные	Максимальные	Средние		
$M_{\text{речн.}}$	-0,61	-0,50	-0,46	-0,75	-0,23	-0,52	-0,06	0,65
$M_{\text{пов.}}$	-0,60	-0,49	-0,46	-0,79	-0,26	-0,58	-0,08	0,61
$M_{\text{подз.}}$	-0,58	-0,49	-0,45	-0,52	-0,07	-0,23	0,06	0,76
$M_{\text{подз-гл.}}$	-0,53	-0,47	-0,48	-0,41	-0,16	-0,20	-0,07	0,71

$M_{\text{речн.}}$ – модуль речного стока; $M_{\text{пов.}}$ – модуль поверхностной составляющей речного стока; $M_{\text{подз.}}$ – модуль подземной составляющей речного стока; $M_{\text{подз-гл.}}$ – модуль глубинной доли в подземной составляющей речного стока. Отмечены значимые величины коэффициентов корреляции для 0,10 уровня значимости.

Параметры, характеризующие формирование подземного стока, с привлечением метода множественной линейной регрессии могут быть объединены в единое уравнение. Ряд подобных регрессионных уравнений, описывающих зависимость подземного стока на различных уровнях дренирования от определяющих его морфометрических параметров, получен на основе данных по участку детальных исследований (Центральнинский гранитоидный массив), а в масштабах всего Кузнецкого Алатау – обобщенное уравнение, учитывающее помимо морфометрических особенностей территории, также климатический и гидрогеологический факторы (табл. 5).

Таблица 5. Взаимосвязь модуля подземного стока с параметрами рельефа

Центральнинский гранитоидный массив		
Бассейны 2-го порядка	$M = 73,9 - 0,00095DLP - 0,03H_{\min} - 0,09H_{\max} + 0,0008HIR - 52UKL - 1673S/DLP$	$R^2=0,66; N=21$
Бассейны 3-го порядка	$M = -6,7 + 0,00015DLP - 0,05H_{\min} + 0,06H_{\max} + 0,0013HIR + 32UKL - 2038S/DLP$	$R^2=0,36; N=27$
Бассейны 4-го порядка	$M = -22,8 + 0,00042DLP + 0,0013H_{\min} + 0,032H_{\max} - 0,0012HIR + 60,5UKL - 2722,5S/DLP$	$R^2=0,91; N=17$
В целом по району	$M = -1,7 - 0,1PDOL + 0,00003DLP - 0,006H_{\min} + 0,017H_{\max} + 0,00005HIR + 16,4UKL - 1067S/DLP$	$R^2=0,41; N=94$
Северная часть Кузнецкого Алатау		
В целом по району	$M = -3,26PDOL + 0,000113DLP - 0,00128S - 0,00804H_{\max} - 0,00721dH + 34,0UKL - 2,24Por + 0,00582Os$	$R^2=0,71; N=46$

где PDOL – порядок долины; DLP – длина дрены, м; $H_{\min}$ – высота появления источника, м; $H_{\max}$ – высота области питания, м; dH – мощность зоны дренирования, м; HIR – ширина потока, м; UKL – уклон; S – площадь водосборного бассейна, км²; Por – коэффициент проницаемости горных пород (0-1); Os – атмосферные осадки, мм.

Одним из результатов проведенных исследований является уточнение составляющих водного баланса на основе сопоставления результатов расчленения гидрографов с данными по атмосферным осадкам и испарению (рис. 7).

В результате использования полученного уравнения в сочетании с базисными поверхностями были рассчитаны численные характеристики стока, позволившие охарактеризовать интенсивность водообмена на различных уровнях дренирования подземных вод реками соответствующих порядков. На основе полученных данных были построены карты, отражающие

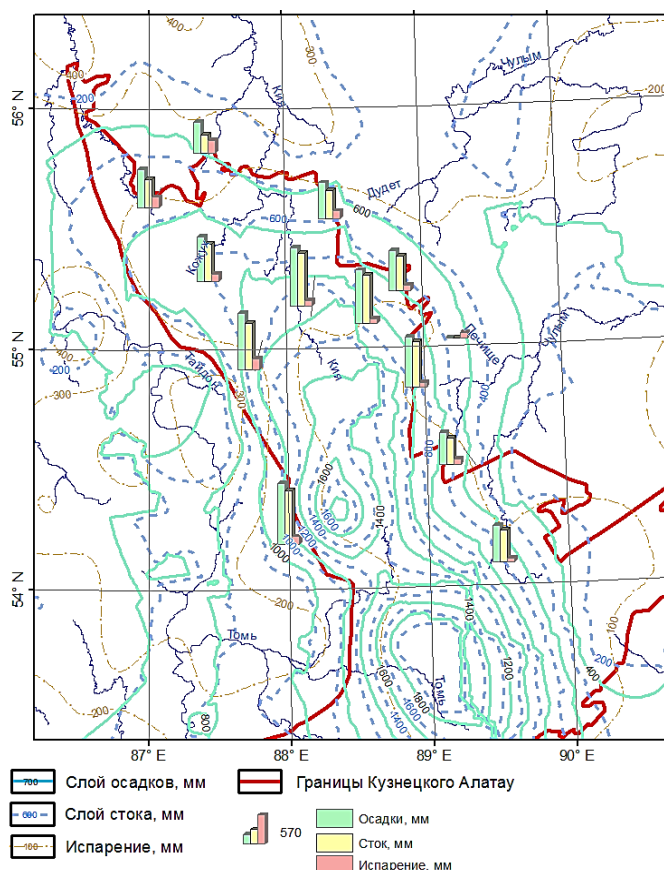


Рис. 7. Карта элементов водного баланса

распределение модулей подземного стока на соответствующих уровнях дренирования (рис. 8).

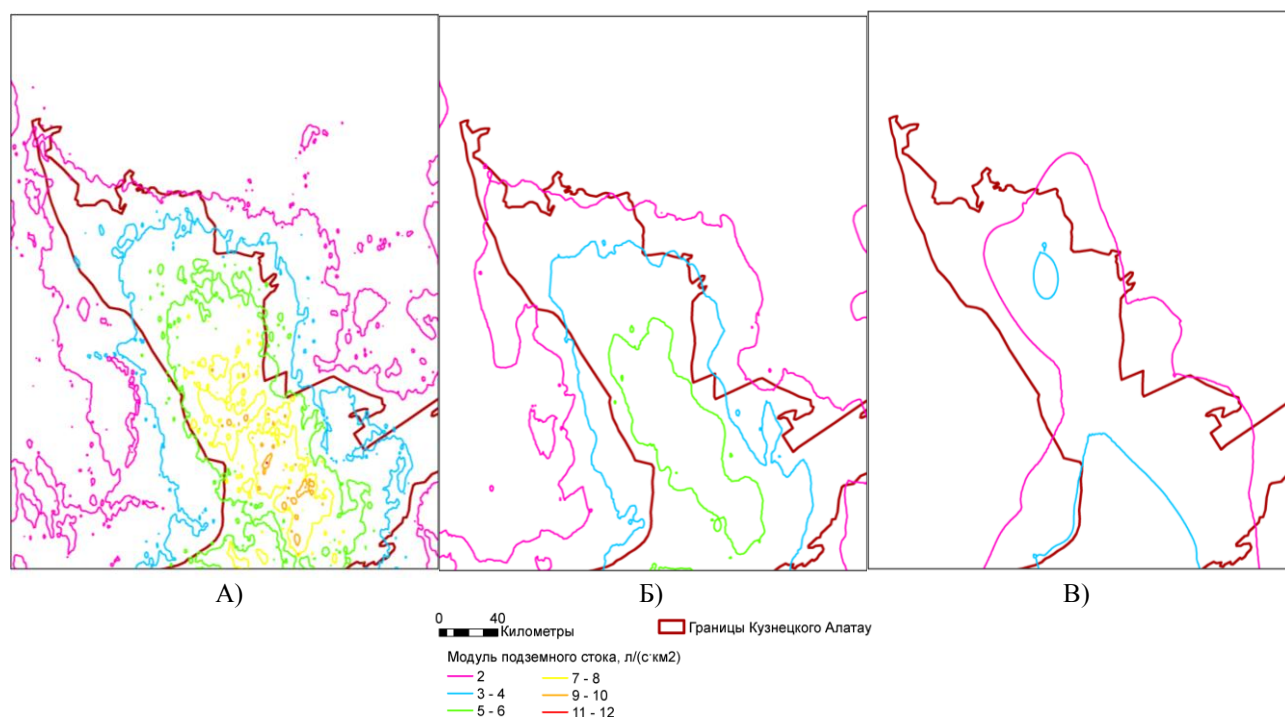


Рис. 8. Карты модуля стока на уровнях дренирования 2-го (А), 4-го (Б) и 6-го (В) порядков

Зависимость модулей подземного стока от уровней дренирования показана на рис. 9.

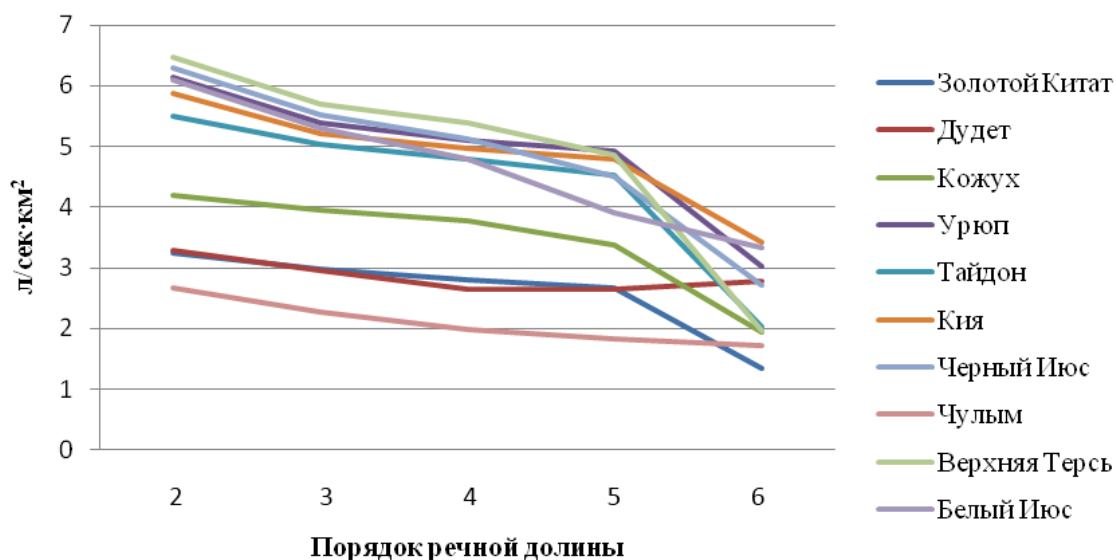


Рис. 9. Зависимость модулей подземного стока от уровней дренирования

Полученные результаты наглядно характеризуют изменение величин модулей подземного стока с глубиной: так, при переходе от долин 2-го порядка до 6-го происходит закономерное замедление водообмена, характеризующееся снижением модулей стока с 12 л/сек·км² до 5-6 л/сек·км² в наиболее возвышенной части рассматриваемой территории.

Глава 5. Прикладные аспекты исследований

Вопросы, рассматриваемые в данной главе, связаны с совершенствованием приемов количественной оценки ресурсов подземных вод горно-складчатых территорий, оценкой роли подземных вод в разрушении горных пород и перераспределении элементов между новообразующимися жидкой и твердой фазами, оценкой потенциального антропогенного воздействия на качество речных вод, с совершенствованием некоторых приемов гидрогеохимического метода поисков рудных месторождений.

Особое внимание уделено количественной оценке перераспределения вещества в системе вода-порода с привлечением методов физико-химического моделирования. Применительно к природным условиям Центральнинского гранитоидного массива оцениваются масштабы преобразования исходной породы и образования вторичной минеральной фазы. Для решения данной задачи использовался модуль физико-химического моделирования программного комплекса HydroGeo (М.Б. Букаты).

Показаны примеры прогноза распространения вещества в подземных водах на основе построения базисных поверхностей (рис. 10).

Решение задачи обоснования гидрогеохимических аномалий, сводится к определению их пространственного положения на основе анализа данных по гидродинамической обстановке формирования и проявления водных потоков рассеяния элементов. Для решения данной задачи необходимо также определиться с местоположением первичного источника элементов, границами фильтрационного потока и характером водообмена. Применительно к рассматриваемой территории направление подземного химического стока совпадает с направлением фильтрации подземных вод и может быть охарактеризовано на различных глубинах дренирования подземных вод речной сетью на основе базисных поверхностей.

Учитывая то, что отбор проб проводился из рек, нижней границей аномалии является базис дренирования реки соответствующего порядка. Боковыми границами определяемой аномалии являются линии тока, восстановленные от крайних аномальных точек до водоразделов. Таким образом, при объёмном рассмотрении аномалии ее границами будут выступать поверхность рельефа и базисные поверхности различных порядков.

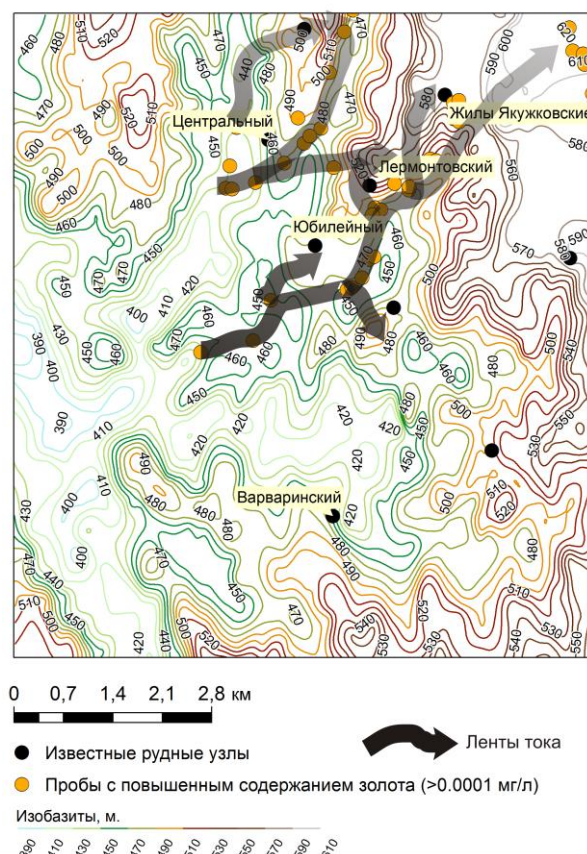


Рис. 10. Ленты тока гидрогеохимических аномалий по золоту

На основе анализа гидродинамических сеток (разностей базисных поверхностей) определено, что форма лент тока определяется характером эрозионной расчлененности территории.

Таким образом, пространственное расположение аномалий контролируется линейными структурными элементами базисных поверхностей и определяется с использованием гидродинамических сеток разных порядков. Причем направления потоков дренирования на различных его глубинах могут различаться как по форме и протяженности, а также могут накладываться друг на друга, образуя сложную пространственную картину движения подземных вод.

Средствами ГИС производится анализ базисных поверхностей в трехмерном пространстве и расчет для каждой из них направлений движения подземных вод с заданной степенью детализации. В результате данных операций строится модель, отражающая общие закономерности движения подземных вод, дренируемых речной сетью во всем объеме горных пород. Иллюстрация практического применения данного подхода приведена на рис. 10, где представлен анализ расположения возможных рудных узлов в пределах Центральнинского гранитоидного массива. Как видно из рисунка, использование данного подхода достаточно качественно описывает имеющийся фактический материал, а также показывает перспективные направления поиска рудопроявлений.

Заключение

В ходе проведения диссертационной работы были получены следующие основные научные и практические результаты:

1. Основными природными факторами, определяющими формирование подземного стока в пределах северной части Кузнецкого Алатау являются высотно-климатические, геоморфологические, геологические и гидрогеологические условия, определяющие величину питания, долю инфильтрации, проницаемость пород, глубину и направление миграции подземных вод. Установлено, что пространственная изменчивость величины модуля подземного стока поддается анализу и функциональному описанию через количественные оценки рассмотренных факторов его формирования (количество атмосферных осадков, гипсометрические и морфометрические параметры водосборов и величины проницаемости пород).

2. Выявлены и исследованы закономерности разгрузки подземных вод в реки разных порядков. Установлены численные характеристики стока как для вод самых верхних частей геологического разреза, характеризующегося наиболее высокими фильтрационными свойствами и дренируемых реками первых порядков, так и для подземные воды более глубоких частей геологического разреза, характеризующиеся относительно низкими фильтрационными свойствами, и дренируемых реками высоких порядков. Охарактеризована зависимость величины модуля подземного стока от порядка дрены. Разработаны новые подходы, направленные на совершенствование используемых в настоящее время методов оценки ресурсов подземных вод.

3. На основе выявленных взаимосвязей характеристик подземного стока по единичным створам стационарных гидрометрических постов и количественных оценок природных факторов разработана технология оценки и картирования подземного стока горно-складчатых областей, в своей основе использующая современные средства ГИС-технологий.

4. Проведенное физико-химическое моделирование позволило произвести оценку геологической роли подземных вод применительно к условиям района детальных исследований.

5. Анализ и сопоставление характера базисных поверхностей с точками опробования химического состава подземных вод позволили наметить подходы к картированию и определению пространственного залегания гидрогеохимических аномалий, что продемонстрировано на примере анализа потоков рассеяния рудных элементов в пределах района детальных исследований.

6. Задачи и перспективы дальнейших исследований:

- оптимизация и расширение набора анализируемых природных факторов формирования подземного стока, в том числе антропогенных воздействий;
- физико-химическое моделирование перераспределения рудогенных элементов применительно к разнообразным геологическим условиям;
- оптимизация методики анализа данных по гидродинамической обстановке формирования и проявления водных потоков рассеяния элементов при проведении экологических и поисковых исследований.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Центральные издания, входящие в перечень ВАК

1. **Никитенков А.Н.**, Дутова Е.М. Речной сток и морфометрические параметры водосборов северной части Кузнецкого Алатау //Известия Томского политехнического университета. – 2010. – т. 316. – № 1. – С. 142-147.
2. Дутова Е.М., **Никитенков А.Н.** Физико-химическое моделирование поведения урана в системе «вода-гранитоиды» //Вестник Томского государственного университета. – 2010. - № 330. – С. 202-208.

Издания за рубежом

3. Никитенков А.Н. Оценка антропогенного воздействия на речные воды в пределах северной части Кузнецкого Алатау //Материалы научно-практической конференции в рамках VII Международного форума «Aqua Ukraine - 2009»: Вода и окружающая среда, 10-13 ноября 2009.- Киев: Изд-во Международного выставочного центра, 2009. – С. 100-101.
4. Дутова Е.М., Кузеванов К.И., Колбышева О.И., **Никитенков А.Н.** Водосборы северо-западного Салаира //Научные основы сохранения водосборных бассейнов: междисциплинарные подходы к управлению природными ресурсами: Тезисы Междунар. конф. Улан-Удэ (Россия) – Улан-Батор (Монголия). – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2004. – С. 54-55.

Всероссийские конференции и совещания

5. Никитенков А.Н. Особенности поведения урана в системе «вода-

- гранитоиды» в окислительных условиях //Сборник трудов XIII Международного симпозиума «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд-во НТЛ, 2009. – С. 255-257.
6. Никитенков А.Н. Использование ГИС-технологий для оценки морфометрических параметров водосборов северной части Кузнецкого Алатау //Сборник трудов XII Международного симпозиума «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд-во НТЛ, 2008. – С. 270-272.
7. Никитенков А.Н. Роль морфометрических параметров водосборных бассейнов в формировании подземного стока рек северной части Кузнецкого Алатау. //Геоэкология и рациональное природопользование: от науки к практике: Материалы Всероссийской (с междунар. участием) науч.-практ. конф. молодых ученых (15-17 октября 2007 г.) – Белгород: Изд-во БелГУ, 2007. – С. 17-18.
8. Никитенков А.Н. Физико-химическое моделирование поведения урана в системе «вода-горная порода» // Сборник трудов XI Международного симпозиума «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд-во НТЛ, 2007. – С. 212-214.
9. Никитенков А.Н. Особенности распределения подземного стока северной части Кузнецкого Алатау //Сборник трудов X Международного симпозиума «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – С. 204-206.
10. Никитенков А.Н. Влияние морфологических параметров водосборов Центральнинского гранитоидного массива (Кузнецкий Алатау) на распространение загрязняющих веществ //Материалы IX Международной экологической студенческой конференции «Экология России и сопредельных территорий. Экологический катализ», г. Новосибирск. – Новосибирск, 2005. – С. 23-24.
11. Никитенков А.Н. Закономерности изменения стока водосборов Центральнинского гранитоидного массива (Кузнецкий Алатау). //Сборник трудов IX Международного симпозиума «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – С. 244-246.
12. Никитенков А.Н. Водосборы Центральнинского гранитоидного массива (Кузнецкий Алатау) //Материалы XI Всероссийской студенческой научной конференции “Экология и проблемы охраны окружающей среды”, г. Красноярск. – Красноярск, 2004. – С. 28-29.
13. Никитенков А.Н. ГИС "Водные ресурсы Центрального рудного поля (Кузнецкий Алатау)" //Материалы Международного студенческого форума "Образование, наука, производство", г. Белгород. – Белгород, 2004. – С. 15-16.
14. Никитенков А.Н. Водные ресурсы Центральнинского гранитоидного массива (Кузнецкий Алатау) //Сборник трудов VIII Международного симпозиума «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд-во НТЛ, 2004. – С. 333-334