

На правах рукописи



КОЛУБАЕВА Юлия Викторовна

**ГИДРОГЕОХИМИЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КОЛЫВАНЬ-
ТОМСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ЗОНЫ**

Специальность 25.00.07 – Гидрогеология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальном исследовательском Томском политехническом университете», Томском филиале Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН

Научный руководитель: **Степан Львович Шварцев**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Лауреат Государственной премии СССР, заслуженный деятель науки РФ

Официальные оппоненты: **Гаськова Ольга Лукинична**, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, ведущий научный сотрудник лаборатории рудно-магматических систем и металлогении

Камнева Оксана Александровна, кандидат геолого-минералогических наук, АО «Томскгеомониторинг», г. Томск, ведущий гидрогеолог

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», г. Томск

Защита диссертации состоится 25 декабря 2015 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.269.03 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, пр. Ленина, 2а, строение 5, корпус 20, аудитория 504.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» и на сайте <http://portal.tpu.ru/council/2799/worklist>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.г.-м.н.



Лепокурова Олеся Евгеньевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. Загрязнение природных вод становится самым сильным фактором отрицательного воздействия человека на окружающую среду. Вода является одним из важнейших жизненно необходимых видов природных ресурсов, используемых практически во всех сферах жизни и деятельности человека, и одновременно неотъемлемой составляющей частью природы. Жизненно важной проблемой современности является сохранение чистоты водных бассейнов особенно густо населенных территорий, подверженных высокой техногенной нагрузке. В этом смысле исследуемый нами объект не является исключением, поскольку на его территории расположен участок с повышенной антропогенной нагрузкой – Северный промышленный узел (СПУ) г. Томска. На территории СПУ сложилась критическая экологическая ситуация вследствие его перегруженности рядом крупных предприятий различного назначения, активно влияющих на природную среду. Кроме того, в районе исследований процессы техногенного характера могут накладываться на природные факторы обогащения вод металлами за счет зон минерализаций, поскольку данный район отличается особой металлогенической спецификой.

В этой связи изучение состава вод, процессов его формирования, масштабов и направленности преобразования, оценка питьевых качеств являются наиболее актуальными проблемами геохимии природных вод данного региона.

Наряду с этим на первый план выходят проблемы исследования формирования состава природных вод методами физико-химической термодинамики. Теоретической базой наших исследований является представление, развиваемое С.Л. Шварцевым, о последовательных этапах формирования состава вод зоны гипергенеза в результате взаимодействия в системе вода-порода, изучению которой автором в работе уделялось особое внимание. Исследования этой системы на примере природных вод северо-восточной части Колывань-Томской складчатой зоны имеет большое теоритическое и прикладное значение для лучшего понимания явлений и процессов, происходящих при формировании состава природных вод.

Объектом научного исследования являются природные воды северо-восточной части Колывань-Томской складчатой зоны (водораздельное пространство рек Томь и Яя).

Цель данной работы заключается в изучении геохимии природных вод северо-восточной части Колывань-Томской складчатой зоны, выявлении признаков их загрязнения, процессов формирования химического состава в ненарушенных и нарушенных природных условиях.

Задачи исследований:

1. Изучить химический состав природных вод и выявить основные закономерности поведения в них ведущих химических элементов.
2. Оценить экологическое состояние природных вод, выделить очаги антропогенного преобразования их состава.
3. Оценить степень равновесия природных вод с ведущими минералами вмещающих горных пород методами физико-химической термодинамики,

выделить ведущие геохимические типы вод и определить в каждом из них фоновые концентрации типоморфных элементов.

4. Выявить ведущие процессы и факторы формирования химического состава природных вод.

Исходный материал и методы исследований. В основу диссертационной работы положен фактический материал гидрогеохимических исследований 1992-2000 гг., проводимых сотрудниками проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Института природных ресурсов Томского политехнического университета (ИПР ТПУ), а также данные опробования, проведенного лично автором в 2008 и 2013 гг. в составе полевого отряда Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. В результате была создана база данных, включающая около 1100 точек опробования (рис. 1). Кроме того, по теме диссертационного исследования обработан и обобщен материал многочисленных статей, отчетов, монографий и диссертаций, среди авторов которых можно назвать П.А. Удодова, В.М. Матусевича, С.Л. Шварцева, Ю.Г. Копылову, Н.А. Ермашову, Е.М. Дутову, Д.С. Покровского, О.Г. Савичева, Ю.В. Макушина, Г.М. Рогова, В.К. Попова, Н.Ю. Ахмадзина, Н.А. Рослякова, Б.М. Левашова, П.Н. Паршина и др.

Гидрогеохимическое опробование осуществлялось в основном в летний меженьный период, изучались родники, колодцы, скважины, речная сеть, а также стоки и отстойники (рис. 1). Параметры быстроменяющихся показателей измерялись непосредственно на точке опробования с учетом требований к проведению полевых анализов. Аналитические исследования вещественного состава вод выполнялись в аккредитованной проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии научно-образовательного центра «Вода» ИПР ТПУ в соответствии с руководящими документами, оформленными и утвержденными согласно требованиям стандартизации и метрологии методами титриметрии, фотоколориметрии, пламенной фотометрии, потенциометрии, турбидиметрии, инверсионной вольтамперометрии, беспламенной атомно-абсорбционной спектрометрии, атомно-эмиссионной спектрометрии, нейтронно-активационного анализа с использованием исследовательского ядерного реактора ТПУ. Также для определения массовых концентраций химических элементов был применен метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе химико-

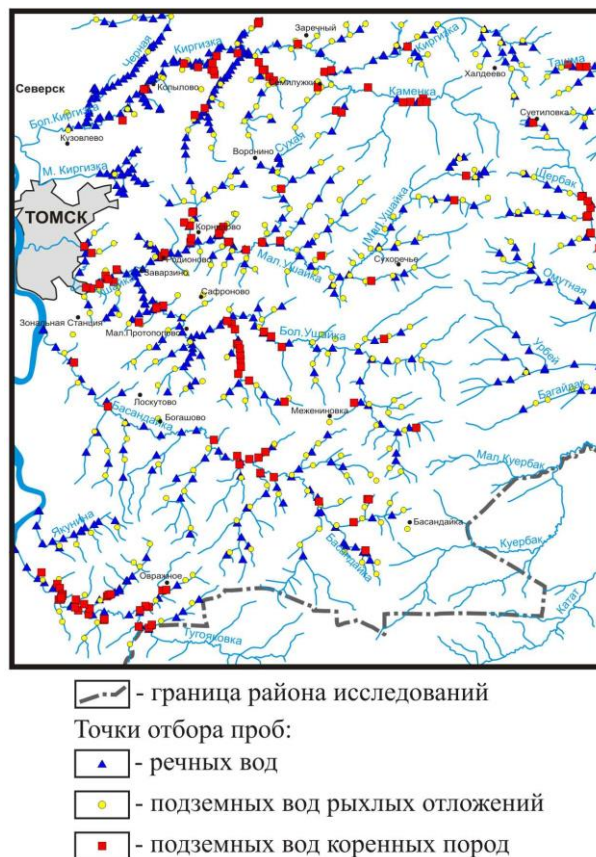


Рис. 1. Схема гидрогеохимического опробования

аналитического центра «Плазма» (г. Томск).

При обработке фактических данных применялись стандартные методы математической статистики. Для изучения равновесия вод с вмещающими породами использовались физико–химические методы равновесной термодинамики. Термодинамические исследования форм миграции химических элементов проводились с использованием программного комплекса HydroGeo, разработанного М.Б. Букаты (1999, 2002). При интерпретации гидрогеохимической информации использовались электронные таблицы Microsoft Office Excel, для картографической обработки информации применялись пакеты программ Surfer, Corel Draw, Photoshop.

Достоверность полученных результатов обеспечена достаточным количеством проб, современной методикой их отбора и пробоподготовки, высокоточными аналитическими методами исследования химического состава вод. Теория построена на обобщении данных по теме диссертационного исследования и новых данных, опубликованных в российских изданиях из перечня ВАК. При интерпретации данных использованы современные методы компьютерной обработки, аппарат математической статистики, физико–химические методы изучения миграционных форм химических элементов, а также современные взгляды на формирование химического состава вод в результате равновесно-неравновесного состояния системы вода-порода.

Личный вклад автора в решение проблемы заключается в непосредственном отборе проб на территории объекта исследований в 2008 и 2013 гг.; обобщении имеющейся по данной территории гидрогеохимической информации; проведении статистического анализа и интерпретации полученных результатов; расчете основных миграционных форм химических элементов; оценке степени равновесия природных вод с ведущими минералами вмещающих горных пород; выделении геохимических типов вод и выявлении фоновых концентраций типоморфных элементов в каждом из них; разработке схемы формирования химического состава подземных вод на разных этапах их взаимодействия со всеми основными составляющими окружающей среды. Автору принадлежит формулировка защищаемых положений и выводов.

Научная новизна. В развитие научных идей С.Л. Шварцева о стадийности формирования химического состава вод в результате неравновесного состояния системы вода-порода на основе дополненного фактического материала рассмотрены геохимические особенности формирования природных вод района. Впервые для данной территории построены схематические карты распределения в подземных водах общей минерализации, значений рН и других элементов. Показано, что появление повышенных содержаний в водах металлов обусловлено не только природным фактором обогащения вод за счет зон минерализаций, но и влиянием техногенного фактора. При помощи программного пакета HydroGeo рассчитаны основные формы миграции химических элементов в природных водах, исследована степень насыщенности вод относительно порообразующих минералов и по составу вторичных продуктов выветривания выделены ведущие геохимические типы вод. Изучение состава вод с использованием современных методов физико-

химических расчетов взаимодействия вод с различными минералами дало возможность с качественно новых позиций подойти к вопросу о вторичном минералообразовании и его роли в формировании состава вод. Разработана схема формирования химического состава природных вод с обоснованием источников химических элементов.

Практическая значимость. Результаты представленных исследований использовались при выполнении работ по грантам РФФИ: № 06-05-96922-р_офи «Исследование геохимических процессов рассеяния и концентрирования химических элементов в геохимических типах вод и механизма формирования водных и литохимических потоков рассеяния золотооруденения (на примере Томского рудного района)», № 11-05-98016 р_сибирь_а «Источники и механизмы накопления железа в питьевых водах Томской области», № 13-05-00062 А «Гидрогеохимия железа и марганца Западной Сибири: источники, геохимические типы вод и рудообразование», № 13-05-98070 р_сибирь_а «Геохимические и биохимические условия формирования качества питьевых подземных вод Томской области»; в рамках госбюджетных тем: № 2.18.2004 «Исследование процессов вторичного минералообразования и формирования геохимических типов вод (на примере юга Западной Сибири)», № 2.3.04 «Исследования механизмов трансформации состава природных вод экологически напряженных районов юга Западной Сибири». Полученные результаты также использовались при выполнении государственного контракта № 11.519.11.6044 и др.

Полученные автором результаты могут быть полезны специалистам, чьи интересы связаны с проблемами экологической безопасности и решением хозяйственно-питьевых проблем, направленных на разработку перспективных планов водоснабжения населения. В частности, полученные данные об уровнях природных концентраций химических элементов в водах могут быть использованы при мониторинге экологического состояния окружающей среды. Кроме того, результаты исследований могут быть использованы в качестве основы для районирования территории по условиям и интенсивности загрязнения опасными веществами.

Апробация работы и публикации. Отдельные разделы работы были доложены на следующих Международных и Всероссийских научных симпозиумах и конференциях в различных городах России: на Международном научном симпозиуме студентов, аспирантов и молодых ученых им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2004, 2005, 2006), на Открытой окружной конференции молодых ученых «Наука и инновация XXI века» (Сургут, 2004), на Российской научной конференции «Гидрогеохимия осадочных бассейнов» (Томск, 2007), на Всероссийском совещании по подземным водам востока России «Подземная гидросфера» (Иркутск, 2006, 2012), на Всероссийской конференции «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами» (Томск, 2012; Владивосток, 2015), на II Всероссийской молодежной научно-практической школе-конференции геологического полигона «Шира» «Науки о Земле. Современное состояние» (Республика Хакасия, 2014), на VII Сибирской научно-практической конференции молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 2014).

Результаты работы освещены в 32-х публикациях, в том числе в 4-х статьях из перечня изданий, рекомендуемых ВАК: «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка», 2010 г.; «Известия Томского политехнического университета», 2013 г.; «Вестник Томского государственного университета», 2012, 2015 гг.

Структура и объем работы. Настоящая диссертация состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы, насчитывающего 184 наименования отечественных и зарубежных изданий. Материал диссертации изложен на 191 странице, иллюстрирован 38 рисунками и содержит 17 таблиц.

Благодарности. За постоянную поддержку, помощь и направление хода мыслей автор глубоко благодарен своему научному руководителю доктору геолого-минералогических наук, профессору Степану Львовичу Шварцеву. Искреннюю признательность за постоянное внимание, отзывчивость и помощь в работе автор также выражает кандидату геолого-минералогических наук, директору научно-образовательного центра «Вода» Юлии Григорьевне Копыловой, благодаря которой удалось собрать базу данных. При работе над диссертацией помощь оказали советы и консультации сотрудников кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеологии ИПР ТПУ, а также сотрудников проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии научно-образовательного центра «Вода». Работа выполнялась при поддержке сотрудников Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН профессора М.Б. Букаты, О.Е. Лепокуровой, И.С. Ивановой, Н.С. Трифонова, которым автор также выражает искреннюю благодарность.

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Первое защищаемое положение. На территории исследований повсеместно развиты пресные подземные воды гидрокарбонатного кальциевого состава со средней соленостью около 0,5 г/л и околонеutralной средой. Соленость и pH увеличиваются при фильтрации подземных вод в направлении от водоразделов рек к их долинам, то есть с увеличением времени взаимодействия воды с горной породой.

Изучаемая территория расположена в юго-восточной части Западной Сибири и приурочена к Томь-Яйской междуречной равнине, в административном отношении входит в состав Томского района Томской области. Исследуемый район в ландшафтном отношении относится к подтаежной подзоне таежной зоны и характеризуется гумидным климатом с годовым количеством осадков от 400 до 570 мм. В орографическом отношении район представляет собой слабо расчлененную эрозионно-аккумулятивную равнину в западной части и низменную аккумулятивную равнину в восточной части, абсолютные отметки водоразделов колеблются от 190 до 270 м с общим уклоном к северу. Основными водными артериями района являются притоки рек Томь и Яя, имеющие широтное или близкое к нему направление.

В геолого-гидрогеологическом отношении особенностью Колывань-Томской складчатой зоны является наличие двух структурных этажей. Нижний

этаж – складчатый фундамент палеозойских образований, представленный осадочными, вулканогенными и метаморфическими породами, обводненными, преимущественно, в верхней трещиноватой зоне. Здесь развиты подземные воды, связанные с разрушенной кровлей пород фундамента и с зонами разрывных нарушений (трещинные воды). Верхний водоносный этаж мезо-кайнозойского возраста сложен рыхлыми относительно маломощными отложениями: глинами, песками и их разностями, содержащий порово-пластовые воды. Мощность рыхлых отложений возрастает в местах погружения палеозойского фундамента. На поверхности палеозойских образований широким распространением пользуется древняя кора выветривания мел-палеогенового возраста преимущественно каолинит-гидрослюдистого состава (Росляков, 1981; Калинин и др., 2006).

В соответствии с гидрогеологическими особенностями исследуемой территории нами изучен химический состав подземных вод рыхлых отложений в количестве 601 точки опробования и 138 точек опробования подземных вод коренных пород. Также изучен химический состав 381 пробы речных вод, которые в пределах исследуемой территории представлены в западной части: притоками реки Томь – реками Киргизка, М.Киргизка, Ушайка, Басандайка, Якунина, Тугояковка; в восточной части притоками реки Яя – реками Ташма, Щербак, Омутная, Урбей, Багайдак. Химический состав природных вод представлен в таблице 1.

Речные воды. Анализ полученных данных показал (табл. 1), что, в целом воды всех вышеперечисленных рек по величине общей минерализации являются умеренно пресными при среднем ее значении 429 мг/л, слабощелочными (среднее значение рН – 7,5). Величина общей жесткости в среднем составляет 4,9 мг-экв/л (умеренно жесткие). Если принять во внимание химические компоненты, содержание которых превышает 25 мг-экв %, то около 70 % от всего количества проб являются $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ и порядка 15 % $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, остальные 15 % – смешанного типа. Наблюдается некоторая закономерность в распределении значений общей минерализации: реки восточной части территории (бассейна р. Яя) имеют более низкие ее значения по сравнению с реками западной части (бассейна р. Томь) и отличаются примерно на 100 мг/л.

Подземные воды рыхлых отложений по величине общей минерализации являются пресными при среднем значении 507 мг/л (от 104 до 1229 мг/л), нейтральными при среднем рН – 7,4 (с пределами от 6,0 до 8,2), от очень мягких до очень жестких (от 0,9 до 14,6 мг-экв/л). Порядка 86 % вод от общего количества анализов по анионно-катионному составу являются $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, около 13 % приходится на $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ воды и лишь в нескольких пробах отмечены воды с преобладающей в катионном составе ролью магния ($\text{HCO}_3\text{-Mg-Ca}$), в единичных случаях встречены $\text{HCO}_3\text{-Cl-Ca}$ и $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$ воды.

В подземных водах коренных пород значения общей минерализации варьируют от 354 до 784 мг/л при средней величине 527 мг/л. Эти воды характеризуются слабощелочной реакцией среды (среднее рН – 7,6) с пределами от 6,9 до 8,2. Общая жесткость изменяется от 4,0 до 9,7 мг-экв/л (от умеренно жестких до очень жестких). По химическому составу – это также воды

Таблица – 1. Химический состав природных вод

Компонент раствора	Подземные воды рыхлых отложений			Подземные воды коренных пород			Речные воды		
	Мин.	Сред.	Макс.	Мин.	Сред.	Макс.	Мин.	Сред.	Макс.
pH	6,0	7,4	8,2	6,9	7,6	8,2	6,0	7,5	8,2
Об.ж, мг-экв/л	0,9	5,9	14,6	4,0	6,1	9,7	1,2	4,9	13,2
CO ₂ , мг/л	1,5	12,7	116	1,5	18,5	127	1,5	10	70
HCO ₃ ⁻ , мг/л	49	375	680	265	385	565	72	309	1098
SO ₄ ²⁻ , мг/л	1,0	5,8	80	1,0	6,3	53	1,0	5,9	90
Cl ⁻ , мг/л	0,5	5,0	78	1,4	6,6	121	1,1	5,3	1553
Ca ²⁺ , мг/л	16	93	210	54	97	166	18	76	184
Mg ²⁺ , мг/л	0,5	14,2	63	0,5	15,6	52	0,5	13,7	72
Na ⁺ , мг/л	1,4	11	55	5,0	12	46	2,8	12,1	840
K ⁺ , мг/л	0,23	1,6	22	0,2	1,7	18,5	0,4	2,5	170
NO ₂ ⁻ , мг/л	0,0015	0,05	1,2	0,0015	0,01	0,9	0,0015	0,03	3,0
NO ₃ ⁻ , мг/л	0,05	0,4	200	0,05	0,5	69	0,05	0,6	565
NH ₄ ⁺ , мг/л	0,015	0,5	3,8	0,015	0,4	2,5	0,05	0,6	230
Si, мг/л	0,9	5,3	9,7	2,3	6,2	12	0,4	4,0	12
Fe общ, мг/л	0,09	0,5	37,2	0,15	0,7	8,4	0,15	0,6	6,5
M* , мг/л	104	507	1229	354	527	784	121	429	2754
F ⁻ , мкг/л	90	230	1180	90	250	510	90	220	3790
Bг, мкг/л	0,3	44	200	3,3	41	172	0,3	43,1	687
Ba, мкг/л	2,5	44,6	175	7,2	56,0	210	2,5	42,7	280
Sг, мкг/л	9,0	378	1597	9,0	430	1447	9,0	315	1467
Li, мкг/л	2,4	13,4	45	5,0	13,3	38	1,8	14,1	160
Al, мкг/л	5,0	85	2650	5,0	203	500	5,0	98	340
Ti, мкг/л	0,3	1,5	81	0,3	2,5	70	0,3	1,5	100
V, мкг/л	0,3	0,7	10	0,3	1,1	20	0,2	1,0	20
Cr, мкг/л	0,9	5,4	76	0,2	5,3	40	0,2	5,0	67
Co, мкг/л	0,01	0,4	5,9	0,1	0,5	3,4	0,1	0,5	5,7
Ni, мкг/л	0,3	1,9	23,5	0,3	2,8	100	0,3	2,1	19
Cu, мкг/л	0,05	0,8	138	0,05	1,3	5,8	0,05	1,3	30
Zn, мкг/л	0,6	12,0	2830	0,1	12,1	900	0,1	9,9	592
Cd, мкг/л	0,05	0,15	12	0,05	0,1	15	0,005	0,11	153
Pb, мкг/л	0,05	1,4	26	0,05	1,8	25	0,05	1,6	30
As, мкг/л	2,0	5,1	70,5	2,0	4,8	26,4	0,9	4,8	91
Ag, мкг/л	0,03	0,24	3,5	0,03	0,3	5,0	0,01	0,26	5,0
Au, мкг/л	0,001	0,01	0,3	0,001	0,01	0,2	0,001	0,01	0,18
Sb, мкг/л	0,01	0,12	3,1	0,01	0,1	6,5	0,01	0,11	10,7
Hg, мкг/л	0,005	0,05	4,5	0,005	0,05	2,9	0,002	0,07	2,4
Кол-во анализов	601			138			381		

*M – общая минерализация

преимущественно HCO₃-Ca (79 % от общего количества анализов) и порядка 18 % составляют воды HCO₃-Ca-Mg состава, в единичных пробах встречаются HCO₃-Mg-Ca и HCO₃-Cl-Ca воды.

Характерной особенностью всех типов вод является обогащенность их Fe (табл. 1). Дело в том, что в пределах исследуемой территории существуют благоприятные естественные условия для его накопления в водах (Ермашова, 1998; Иванова, 2013). Кроме того, изучаемые подземные воды характеризуются повышенными концентрациями некоторых микроэлементов, из которых наиболее часто встречающимися являются Hg, Cd и Ba. Исследуемый нами район

отличается особой металлогенической спецификой. По данным предыдущих работ по геохимическим исследованиям на территории Томь-Яйского междуречья были выделены следующие основные типы эндогенной минерализации: полиметаллической (ведущие элементы – Pb, Cu, Zn, сопутствующие – Ag, Ba, Ni, Co, Cd, As, Mo, Sb, Sr, Ge, Be, Zr, Hg) и сурьмяно-ртутной (ведущие элементы – Sb и Hg, сопутствующие – Pb, Cu, Zn, As, Ag, Sb, Ba) (Удодов и др., 1965, 1971). Таким образом, источником обогащения металлами в пределах изучаемой территории может выступать природный фактор – горные породы и рассеянная рудная минерализация, развитая в зонах разрывных нарушений.

Как видно, геохимические особенности подземных вод верхнего и нижнего этажей выражаются в схожести химического состава, которая, как правило, обусловлена наличием гидравлической связи между ними. Кроме того, нельзя не заметить, что химический состав речных вод близок по составу к подземным водам. Вероятно, это связано с небольшой водностью изучаемых нами рек, в питании которых доля подземной составляющей в меженный период достаточно велика, а влияние процессов разбавления речных вод атмосферными осадками становится минимальным.

Для подземных вод исследуемой территории нами были построены схематические карты распределения по площади общей минерализации (рис. 2). В целом, как для подземных вод рыхлых отложений, так и для вод коренных пород наблюдается следующая закономерность: наименьшие ее значения приурочены, в основном, к наивысшим гипсометрическим отметкам (к линиям водоразделов). К долинам рек (в районах с меньшими уклонами земной поверхности) воды уже имеют большую минерализацию. Картина изменения общей минерализации подземных вод обусловлена тем, что время движения вод в горных породах и их химический состав тесно взаимосвязаны: при фильтрации от областей питания (от водоразделов) к областям разгрузки (к долинам рек), то есть с увеличением времени взаимодействия воды с горной породой, увеличивается соленость и растут содержания макрокомпонентов.

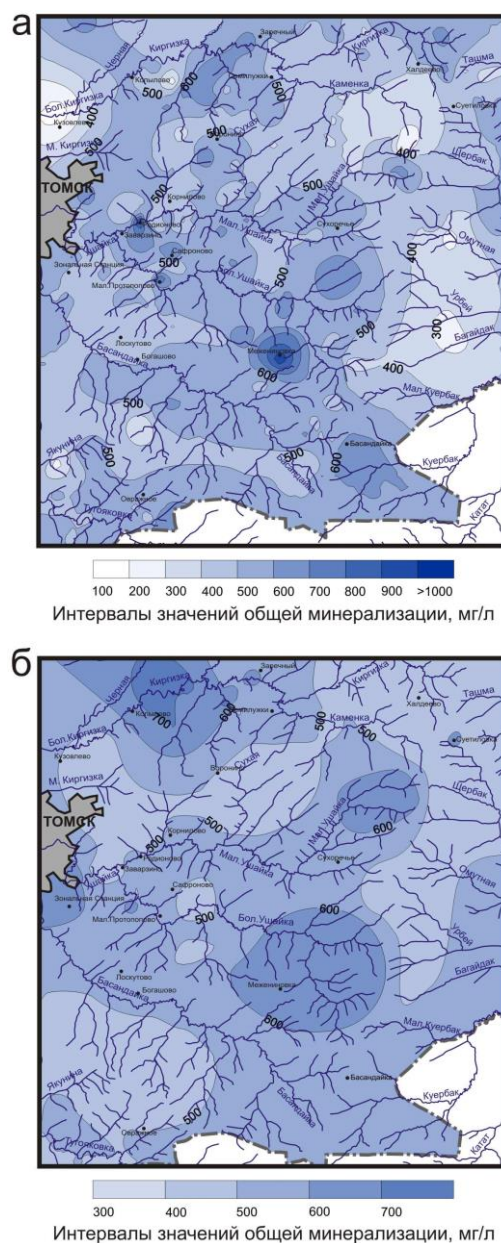


Рис. 2. Распределение общей минерализации: а – подземных вод рыхлых отложений, б – подземных вод коренных пород

С увеличением общей минерализации вод, в целом, наблюдается тенденция роста значений рН (рис. 3).

Как показывают данные, основные солеобразующие компоненты в подземных водах, представленные гидрокарбонат-ионом и кальцием, связаны прямой корреляционной зависимостью между собой и общей минерализацией вод. Величина коэффициента корреляции (r) составляет соответственно 0,94 и 0,86 для вод рыхлых отложений и 0,92 и 0,82 – для вод коренных пород. Если добавить к этому, что в подавляющем большинстве случаев воды являются нейтральными или слабощелочными, пресными, формируются в условиях преобладания выпадающих осадков над испарением, то становится очевидным, что мы здесь имеем дело с типичными водами выщелачивания. Об этом же свидетельствуют невысокие средние содержания SO_4^{2-} , Cl^- и Na^+ (табл. 1), имеющие сугубо подчиненное значение в составе солей, за некоторым исключением.

Дело в том, что иногда на общем фоне формирующихся в этих условиях вод (табл. 1) для ионов SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ отмечаются аномальные концентрации. Как правило, в водах с высокими содержаниями перечисленных компонентов наблюдается одновременное присутствие в высоких концентрациях элементов группы азотистых соединений и некоторых микроэлементов. С учетом этого можно говорить о природно-антропогенных условиях формирования состава природных вод на территории исследований. В целом, проводимые исследования, а также данные результатов ежегодного ведения Государственного мониторинга состояния недр АО «Томскгеомониторинг» подтверждают, что на территории исследований состояние подземных вод подчиняется преимущественно естественным (природным) закономерностям формирования (Состояние геологической..., 2014).

Второе защищаемое положение. На общем фоне природных вод, формирующихся в естественных условиях, выделяются участки техногенно-трансформированных вод по спектру элементов макрокомпонентного состава (Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , NO_3^- , NH_4^+) и ряду микроэлементов. Аномальные содержания

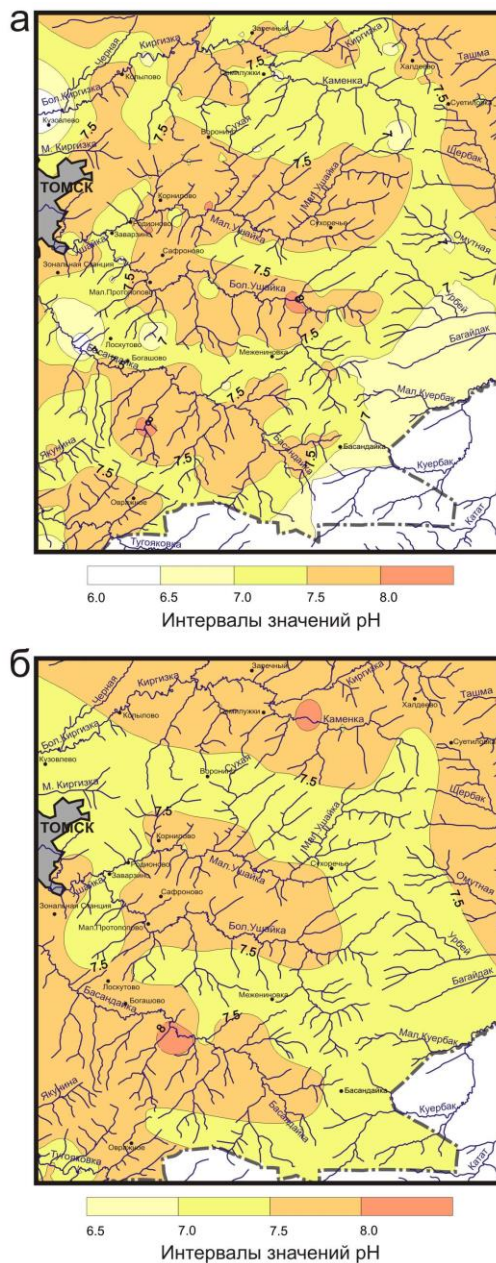


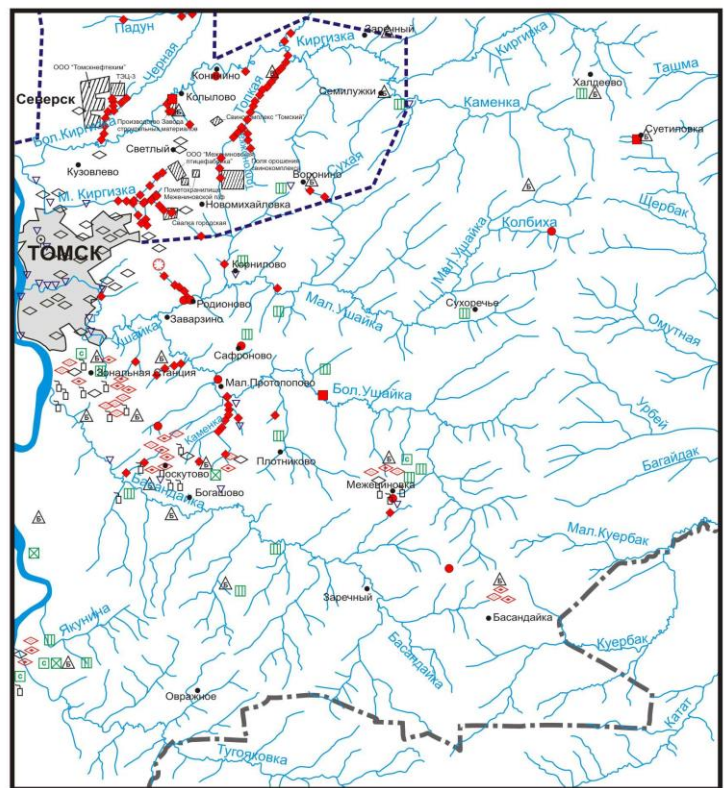
Рис. 3. Распределение значений рН: а – подземных вод рыхлых отложений, б – подземных вод коренных пород

макрокомпонентов иногда вносят существенный вклад в изменение солёности и состава вод. При этом техногенно-трансформированные подземные и речные воды характеризуются различным уровнем накопления в них химических элементов.

В пределах района исследований существует проблема загрязнения природных вод под влиянием хозяйственной деятельности человека. Дело в том, что территория северо-восточной части Колывань-Томской складчатой зоны представляет собой достаточно сложную природно-техногенную систему, включающую ряд антропогенных объектов. Среди таких, в первую очередь, помимо многочисленных поселков и деревень можно назвать Северный промышленный узел (СПУ) г. Томска (Экология Северного..., 1994). Территория СПУ расположена в северо-восточном направлении от г. Томска, приурочена к краевой части Томь-Яйской междуречной равнины, прорезаемой

р. Большая Киргизка (рис. 4). В пределах СПУ расположен целый ряд крупных предприятий различного назначения, среди которых основными являются ОАО «Сибирский химический комбинат», ООО «Томскнефтехим», предприятия топливно-энергетического комплекса г. Томска (ТЭЦ-3), агропромышленные комплексы (ОАО «Межениновская птицефабрика», свинокомплекс «Томский»), а также полигоны промышленных и бытовых отходов, золоотвалы, карьеры, очистные сооружения г. Томска и т.д. Все они оказывают негативное влияние в целом на всю природную среду и на поверхностные и подземные воды, в частности. Очевидно, что на таких участках химический состав вод, формирующийся под воздействием антропогенного фактора, претерпевает существенные изменения (табл. 2).

Так, максимальные значения некоторых показателей химического состава вод данной



- Условные обозначения
- ◊ - речные воды
 - - подземные воды рыхлых отложений
 - - подземные воды коренных пород
- Потенциальные источники загрязнения природных вод:
- - накопители сточных вод
 - ⬡ - золоотвалы
 - ◊ - автотранспортные хозяйства
 - ◊ - автозаправочные станции
 - ◊ - склады ГСМ
 - ▽ - сброс сточных вод
 - ▭ - котельные
 - ▭ - животноводческие комплексы
 - - силосные ямы
 - - склады минеральных удобрений
 - △ - свалки бытовых отходов
 - ⋯ - территория СПУ г. Томска

Рис. 4. Схематическая карта природных вод с техногенно-трансформированным химическим составом

территории, не просто превышают их естественный фон в десятки и даже сотни раз, но и в несколько раз действующие для них санитарно-гигиенические нормативы. Учитывая вышесказанное, эти воды были отнесены к группе техногенно-трансформированных вод. Примеры их химического состава приведены в табл. 2, а на рис. 4 представлена схема их расположения.

Таблица – 2. Химический состав некоторых загрязненных вод

Показатель	Подземные воды рыхлых отложений			Подземные воды коренных пород			Речные воды			ПДКп*	ПДКр	ПДКх
	т.н. 259 Д (скважина, д. М.Протопопово)	т.н. 1287 (колодец, д. Меженновка)	т.н. 958 (колодец, д. Родионово)	т.н. 1528 (родник, р. Ушайка)	т.н. 1583 (скважина, д. Суетиловка)	т.н. 910 (родник, р. Б.Киргизка)	т.н. 1142 (приток р. Ушайка)	т.н. 686 (р. М.Киргизка)	т.н. 636 (приток р. Черная)			
pH	7,13	6,8	6,6	7,6	7,8	7,8	7,9	-	7,8	6-9	6,5-8,5	
Об.ж, мг-экв/л	12,0	10,4	14,6	5,5	7,4	7,9	7,6	13,1	10,0	7		
HCO ₃ ⁻ , мг/л	680	634	561	390	378	306	537	1098	152			
SO ₄ ²⁻ , мг/л	2,6	70	80	9	24	16	16	20	2	500	100	500
Cl ⁻ , мг/л	64	44	78	5	19	121	216	12	1553	350	300	350
Ca ²⁺ , мг/л	190	178	210	78	116	138	62	160	184		180	
Mg ²⁺ , мг/л	30,6	18,3	49,0	19,5	19,5	12,2	54	61	10		40	50
Na ⁺ , мг/л	16,7	55,0	38,4	11,0	12,5	46,0	192	19	840	200	120	200
K ⁺ , мг/л	10,3	1,7	10,0	7,2	0,6	4,5	-	80	6		50	
NO ₂ ⁻ , мг/л	0,02	0,0015	0,6	0,2	-	0,005	2,25	0,005	0,15	3	0,08	3,3
NO ₃ ⁻ , мг/л	0,1	4	200	0,5	69	55	122	565	5	45	40	45
NH ₄ ⁺ , мг/л	2,1	0,03	1,5	2,5	0,16	0,5	24	225	0,05	2	0,5	1,5
Si, мг/л	5,5	5,0	-	7,1	12,0	5,6	-	11,5	2,5	10		10
Fe общ, мг/л	37,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	-	1,0	0,3	0,1	0,3
M, мг/л	994	1005	1229	523	640	700	1227	2240	2754	1000		
F ⁻ , мкг/л	430	150	-	400	160	90	190	90	200	1500	750	1500
Bг, мкг/л	200	153	22	39	13,4	48	-	-	135	200	1350	200
Ba, мкг/л	-	93	42	160	27	16	-	-	25	100	740	700
Sг, мкг/л	-	730	-	410	480	-	-	-	9	7000		7000
Li, мкг/л	-	29	34	16	11	38	25	31	124	30	0,7	30
Al, мкг/л	-	89	-	407	67,5	-	-	-	-	500	40	200
Ti, мкг/л	-	0,3	0,3	0,3	6,7	4,3	0,3	20	3,0			
V, мкг/л	-	0,3	0,3	0,3	3,3	8,6	0,3	0,3	0,3	100	1	
Cr, мкг/л	-	10,6	2,1	5,5	3,2	2,7	-	-	4,7	50	20	50
Co, мкг/л	-	0,35	0,32	0,9	0,14	0,3	-	-	0,6	100	10	100
Ni, мкг/л	-	2,2	0,3	13,7	0,7	2,6	2,5	1,0	0,3	100	10	20
Cu, мкг/л	7,1	0,05	1,5	1,0	1,0	0,15	30	4,0	6,0	1000	1	1000
Zn, мкг/л	13	28	14,3	56	50	8,0	516	75	17	5000	10	10
Cd, мкг/л	0,2	0,05	0,3	0,3	0,15	0,4	153	0,3	0,1	1	5	1
Pb, мкг/л	11	0,6	1,7	0,6	2,0	1,6	8,0	1,1	1,8	30	100	10
As, мкг/л	-	15	2,0	9,6	2,0	2,0	43	7	2	50	50	10
Ag, мкг/л	-	0,43	0,3	0,14	0,07	0,09	0,17	0,03	0,2	50		50
Au, мкг/л	-	0,001	0,015	0,001	0,008	0,001	-	-	0,001			
Sb, мкг/л		0,3	0,1	0,4	0,08	0,1	-	-	0,2	50		5
Hg, мкг/л	0,11	0,005	0,87	0,005	0,08	0,13	0,3	0,06	0,3	0,5	0,01	0,5
Формула ионно-солевого состава	HCO ₃ /Ca	HCO ₃ /Ca	HCO ₃ /Ca	HCO ₃ /Ca-Mg	HCO ₃ /Ca	HCO ₃ /Cl-Ca	HCO ₃ -Cl/Na-Mg	HCO ₃ -NO ₃ /NH ₄ -Ca	Cl/Na			

* – ПДКп – предельно-допустимые концентрации компонентов для питьевых вод (СанПиН..., 2002), ПДКр – предельно-допустимые концентрации компонентов для вод рыбохозяйственных водоемов (Перечень..., 1995), ПДКх – предельно-допустимые концентрации компонентов в воде водных объектов хозяйственно-питьевого назначения (ГН 2.1.5.1315-03..., 2004)

Из таблицы 2 видно, что, как правило, в таких водах наблюдается одновременное присутствие целого ряда компонентов с повышенными и даже очень высокими концентрациями. При этом минерализация подземных вод рыхлых отложений иногда превышает 1 г/л. В анионно-катионном составе подземных вод преобладают ионы HCO_3^- и Ca^{2+} , хотя в этих водах в процентном соотношении по сравнению с теми, которые формируются в естественных природных условиях, наблюдается рост ионов Cl^- , Na^+ , NO_3^- и SO_4^{2-} . Особое внимание хотелось бы обратить на присутствие в повышенных количествах азотистых соединений. Наиболее всего это касается NO_3^- , концентрации которого в водах рыхлых отложений достигают 200 мг/л. Уровень содержания железа в водах, по сравнению с соединениями азота, в меньшей степени определяется действием антропогенных факторов, о чем свидетельствует достаточно слабая связь концентраций железа с наличием антропогенных источников (табл. 2). Вполне закономерным является и то, что в водах рыхлых отложений, как наиболее уязвимых с точки зрения загрязнения, наблюдаемые повышенные концентрации элементов макрокомпонентного состава вод имеют более высокие значения по сравнению с водами коренных пород (табл. 1). С некоторыми из этих вод также связаны повышенные концентрации микроэлементов (Ba, Li, Hg, Br). На рис. 4 можно увидеть, что среди всех представленных вод с техногенно-трансформированным составом подземные воды встречаются довольно редко. При этом они рассредоточены по площади и находятся, как правило, непосредственно в населенных пунктах, либо располагаются в пределах зоны СПУ. В частности, последнее касается родников, приуроченных к долине реки Б.Киргизка.

А вот в отношении речных вод наблюдается иная картина: к техногенно-трансформированным водам по совокупности элементов, концентрации которых превысили ПДКр, мы отнесли уже более представительное число проб, которые имеют явную приуроченность к западной, северо-западной частям района. Анализ данных показал вполне закономерную приуроченность наибольших концентраций химических элементов к водам воды двух бассейнов рек, а именно – Ушайки (принимающей большое количество сточных вод) и Киргизки (расположенной в зоне СПУ). В отличие от подземных, речные воды уже имеют более пестрый химический состав (табл. 2). А в зоне влияния СПУ степень техногенного воздействия на речные воды, по-видимому, столь велика, что в их общем химическом составе произошли радикальные изменения – смена естественного HCO_3^-/Ca на такой экзотический, как Cl^-/Na . При этом доля Cl^- в анионном составе достигает 94 мг-экв%, а доля Na^+ – 80 мг-экв%. Общая минерализация таких вод уже существенно отличается от пресных и достигает 2,7 г/л. Концентрации макрокомпонентов в бассейне р. Киргизка достигли аномально высоких значений: Cl^- – 1553, Na^+ – 840, NO_3^- – 565, NH_4^+ – 230 мг/л. Максимальные содержания SO_4^{2-} (90 мг/л) и K^+ (170 мг/л) отмечены в бассейне р. Ушайка. Кроме того, воды бассейнов рек Киргизки и Ушайки характеризуются также наивысшими уровнями накопления в них химических веществ 2 и 3 классов опасности: Fe, F, Li, Al, V, Ni, Cu, Zn, Cd, As, а также Hg, относящейся к чрезвычайно опасным веществам. Более детальное описание аномальных

содержаний компонентов и их площадного распределения приводится в диссертационной работе.

Анализ данных показывает, что наиболее ярко трансформация химического состава речных вод проявляется в зоне СПУ. Так, в бассейне р. Черной, находящейся в зоне действия ООО «Томскнефтехим» и ТЭЦ-3, выделяется участок трансформированных вод по таким элементам, как Cl^- , Na^+ , Cu , Zn , Li , Hg . Формирование азот-содержащих вод свойственно участкам с интенсивной агропромышленной нагрузкой. Наиболее ярко это проявляется в бассейне р. М.Киргизка, подверженной стоку отходов Межениновской птицефабрики, а также р. Топкой, попадающей в зону влияния комплекса орошаемых полей. Остальные участки, как правило, связаны со сбросами сточных вод и свалками бытовых отходов.

Таким образом, наибольшим спектром, уровнем накопления и площадного распространения загрязняющих веществ характеризуются речные воды, нарушенные участки с загрязнением подземных вод имеют локальный характер.

Третье защищаемое положение. Большая часть подземных вод исследуемой территории равновесна с карбонатами Ca , Mg , Fe , каолинитом, Ca , Mg -монтмориллонитом, иллитом. При этом все без исключения воды не равновесны с первичными алюмосиликатами, поскольку образующиеся в этой системе вторичные минералы выступают геохимическим барьером на пути установления такого равновесия. В соответствии с составом образующихся вторичных минеральных фаз в районе развиты преимущественно три геохимических типа подземных вод, которые сменяются один другим при увеличении времени взаимодействия в системе вода-порода.

Катионный состав подземных вод (если исключить долю атмосферных осадков) в своей подавляющей части определяется составом и направленностью преобразования водовмещающих пород. Следовательно, выявление состояния равновесия вод с ведущими минералами является начальным этапом, необходимым для познания условий их формирования. Анализ геологического строения исследуемой территории показывает, что в рассматриваемых условиях наибольшим распространением пользуются алюмосиликатные и карбонатные минералы. Таким образом, обогащение вод химическими элементами происходит за счет гидролиза алюмосиликатных минералов и растворения карбонатных.

Для оценки степени насыщения вод по отношению к тем или иным минералам были рассчитаны основные формы миграции элементов. Результаты расчетов комплексообразования показали, что миграция Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Ba^{2+} и Sr^{2+} в водах осуществляется преимущественно в виде простых ионов. Среди второстепенных форм миграции макроэлементов преобладают комплексы-ассоциаты с участием доминирующих анионов HCO_3^- , CO_3^{2-} , но роль их весьма мала.

Проведенные термодинамические расчеты состояния равновесия природных вод исследуемой территории с карбонатными минералами (кальцитом, доломитом, магнезитом, сидеритом, витеритом, стронцианитом) показали, что количество вод, пересыщенных относительно кальцита (рис. 5 а)

растет от речных вод к подземным водам коренных пород. Что естественно, поскольку увеличивается время взаимодействия воды с горной породой. При этом пересыщенными относительно этого минерала оказывается большая часть вод. Недонасыщенными относительно кальцита, остается лишь четверть от всего количества речных вод и несколько проб подземных вод с более низкими значениями pH и содержаниями Ca. Это хорошо иллюстрируется данными таблицы 3. В общем случае применительно к данным условиям кальцит начинает выпадать при минерализации природных вод более 0,5 г/л и pH 7,4. Для равновесия с доломитом (рис. 5 б) можно увидеть характерную картину. А вот относительно магнезита (рис. 5 в) воды насыщены крайне редко. Небольшое количество вод насыщено относительно стронцианита, по отношению к вивериту все воды неравновесны. Что касается сидерита (рис. 5 г), то по отношению к нему пересыщены около трети речных и подземных вод.

Оценка степени насыщения природных вод относительно алюмосиликатных минералов производилась путем нанесения данных состава вод на построенные по методике Р.М. Гаррелса и Ч.Л. Крайста диаграммы полей устойчивости конкретных минералов и показана на рис. 6. На диаграммах (рис. 6 а,б,в,г) видно что, все точки состава вод находятся вне полей устойчивости первичных алюмосиликатов (анортита, альбита, анальцима, мусковита, Mg-хлорита и др.). По данным расчетов две точки наименее минерализованных вод рыхлых отложений и несколько точек речных вод попали в поле гиббсита. Здесь необходимо добавить, что этот минерал среди вторичных отсутствует, соответственно, и

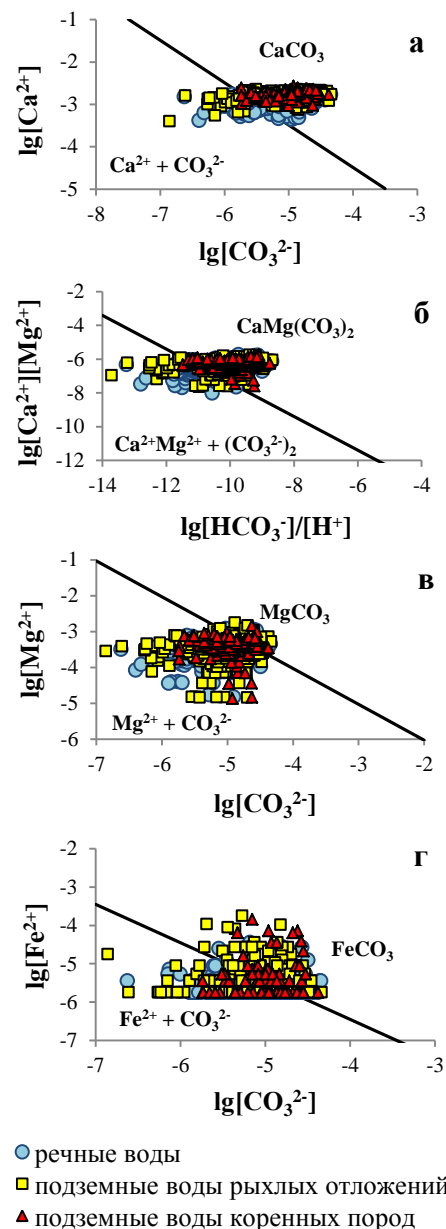


Рис. 5. Степень насыщения вод относительно кальцита (а), доломита (б), магнезита (в), сидерита (г)

Таблица - 3. Основные значения показателей состава подземных вод, насыщенных и ненасыщенных карбонатом кальция

Подземные воды	Основные параметры, мг/л					
	pH	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Минерализация
Насыщенные CaCO ₃	6,9–8,2	230–565	42–166	0,5–63	5–36	326–783
	7,6	381	95	14,5	12	517
Ненасыщенные CaCO ₃	6,0–7,0	97–478	20–148	2,4–27	5–26	158–663
	6,7	300	73	13,6	11	421

Примечание: в числителе – минимум-максимум; в знаменателе – среднее значение

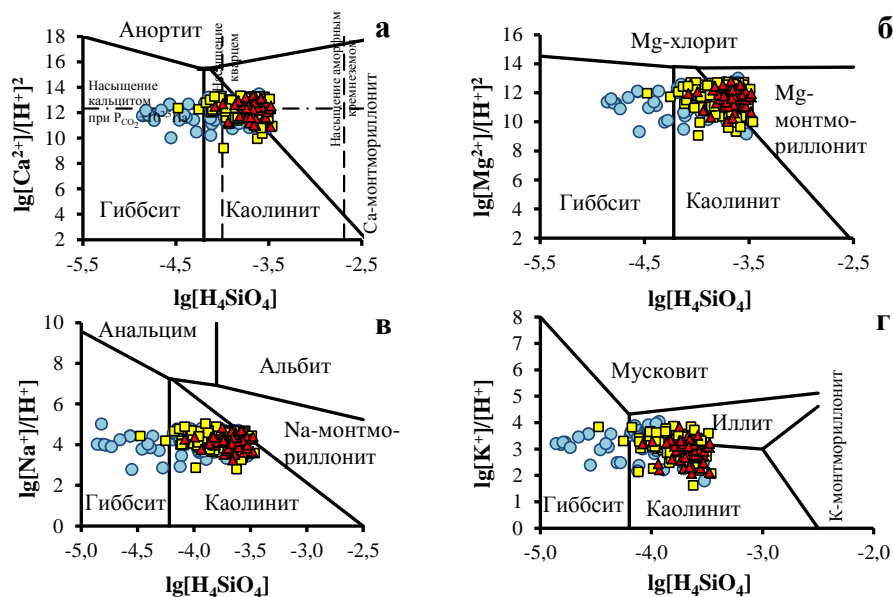


Рис. 6 Диаграммы степени насыщения вод алюмосиликатными минералами при стандартных условиях: а – система $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-CO}_2\text{-CaO-SiO}_2$; б – система $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-CO}_2\text{-MgO-SiO}_2$; в – система $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-CO}_2\text{-Na}_2\text{O-SiO}_2$; г – система $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-CO}_2\text{-K}_2\text{O-SiO}_2$

Условные обозначения см. на рис. 5

равновесие с гиббситом для этих вод в пределах исследуемой территории фактически отсутствует. Скорее всего, это связано с тем, что подавляющая часть алюминия в таких водах связана с органическим веществом в растворимый комплекс, который не учитывался в расчетах. О степени насыщения вод продуктами выветривания первичных пород свидетельствует кучное расположение точек на рис. 6 а и б в полях каолинита и Са-, Mg-монтмориллонита. При этом на определенной стадии взаимодействия системы $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-CO}_2\text{-CaO-SiO}_2$ достигается насыщенность вод по отношению к карбонату кальция при парциальных давлениях CO_2 от $10^{2,5}$ до $10^{1,5}$ Па (в тех же пределах давлений, которые характерны для реальных условий). Следовательно, при формировании химического состава вод кальциевая составляющая формируется как за счет выщелачивания распространенных на территории исследований карбонатов, так и за счет Са-содержащих полевых шпатов. Неравновесность вод с эндогенными кальциевыми минералами, в частности, с анортитом, равновесное поле которого располагается значительно выше (рис. 6 а), связано с карбонатным барьером (Шварцев, 1998). По мере роста в растворе содержаний Са и рН происходит насыщение воды карбонатами этого элемента и из раствора начинает выпадать кальцит. Осаждение кальцита приводит к уменьшению в растворе кальция и тем самым способствует сохранению неравновесного состояния воды с анортитом. Следствием такого равновесно-неравновесного состояния системы $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-CO}_2\text{-CaO-SiO}_2$ выступают многочисленные проявления карбонатных травертинов, пользующиеся широким распространением на территории северо-восточной части Колывань-Томской складчатой зоны. Формирование последних связано с выходами пресных нейтральных или слабощелочных холодных вод ($4\text{--}10^\circ\text{C}$) в

виде родников, главным образом, по зонам тектонических нарушений (Удодов и др., 1965; Лепокурова, 2005; Шварцев и др., 2007).

В отношении натриевых и калиевых алюмосиликатов (рис. 6 в,г) наблюдается иная картина: большая часть точек находится в полях устойчивости каолинита. Неравновесность вод исследуемой территории с На-монтмориллонитом, в целом, характерна для изучаемой территории, поскольку для достижения равновесия с этим минералом необходимы более высокие значения общей минерализация и щелочности.

Таким образом, система вода-порода носит четко выраженный равновесно-неравновесный характер. При этом подземные воды района исследований, равновесные с вторичными алюмосиликатными минералами (каолинитом, Са-, Mg-монтмориллонитом, иллитом, кальцитом), всегда остаются неравновесными с эндогенными минералами водовмещающих пород.

По составу формирующихся вторичных продуктов выветривания в соответствии с классификацией С.Л. Шварцева (1998, 2005, 2007) были выделены 3 геохимических типа вод (табл. 4). Выделенные геохимические типы вод в той или иной степени различаются по минерализации, рН, концентрациям типоморфных элементов, прежде всего Al и Si. Вместе с тем, по ионному составу подземные воды разных геохимических типов – гидрокарбонатные, преимущественно кальциевые. При этом в катионном составе вод наблюдается тенденция увеличения доли Са при переходе от первого геохимического типа к третьему, составляя в щелочном карбонатно-кальциевом типе в среднем 76 экв%. Наиболее распространенным в рассматриваемых условиях является последний геохимический тип, он встречается в 50 % случаев, соответственно, карбонатообразующий тип выветривания является основным при формировании состава вод данной территории.

Таблица – 4. Геохимические типы подземных вод исследуемой территории

№ п/п	Тип вод	Геохимический тип выветривания	Контролирующие показатели	Необходимое химическое условие	Характеристика вод
1	<i>Алюминиево-кремнистый</i>	Моносиаллитный	Al, Si, рН	Равновесие с каолинитом	рН–7,3; М–500 мг/л; Si–3,2 мг/л; Al–150 мкг/л
2	<i>Кремнисто-кальциево-магний</i>	Бисиаллитный	Si, Ca, Mg, рН	Равновесие с минералами группы монтмориллонитов, гидрослюд	рН–7,4; М–510 мг/л; Si–6,6 мг/л; Ca ²⁺ –94 мг/л; Mg ²⁺ –14,7 мг/л; Al–245 мкг/л
3	<i>Щелочной карбонатно-кальциевый</i>	Карбонато-образующий	Ca, HCO ₃ ⁻ , рН	Равновесие с кальцитом	рН–7,8; М–530 мг/л; HCO ₃ ⁻ –390 мг/л; Ca ²⁺ –102 мг/л

Таким образом, каждому типу вторичных образований соответствует свой определенный геохимический тип вод. При этом смена одного геохимического типа вод другим происходит с увеличением времени взаимодействия в системе вода-порода.

Четвертое защищаемое положение. Формирование состава подземных вод определяется развитием в регионе начальной стадии литогенного этапа эволюции системы вода-порода и ее равновесно-неравновесным состоянием. Геохимические особенности вод, выражающиеся в преобладании кальциевой

компоненты, околонеutralной среды, солености до 1 г/л и геохимических типов вод, обусловлены относительно небольшим временем взаимодействия в этой системе (активным водообменом).

Применительно к зоне гипергенеза формирование состава вод инфильтрационного генезиса 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. Таким образом, в формировании химического состава вод исследуемой территории выделяется три этапа: атмосферный, биогенный и литогенный (Шварцев, 1998).

Воды атмосферного этапа формирования являются одним из основных источников питания подземных вод и существенно влияют на формирование их состава. Это ультрапресные воды, величина общей минерализации которых обычно составляет 40-60 мг/л, отличаются, как правило, слабокислой средой, по составу $\text{HCO}_3/\text{Na-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-Cl/Na-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ (рис. 7).

Просачиваясь вниз, атмосферные осадки попадают в почвенный слой, взаимодействуют с растительностью, лесной подстилкой и другими горизонтами почв, с этого момента начинается биогенный этап эволюции их состава. Богатые кислородом, они окисляют органическое вещество и обогащаются дополнительными порциями CO_2 . Часть органического вещества растворяется в подземных водах и обогащает их различными кислотами и продуктами их диссоциации. Одновременно из органических веществ в раствор поступают биогенные элементы: C, N, K, P, Ca, S, Si, частично Al, Fe и Mn. На данном этапе формируются слабокислые (рис. 7) воды при относительно низкой их общей минерализации. Воды имеют $\text{HCO}_3/\text{Ca-Mg}$, $\text{SO}_4\text{-HCO}_3/\text{Ca-Mg}$ состав. Иногда и только для нижних горизонтов почв при развитии карбонатных пород среда может становиться слабощелочной ($\text{pH} > 7$), как это наблюдается в районе д. Семилужки (Шварцев, 1998), где почвенный горизонт содержит конкреции

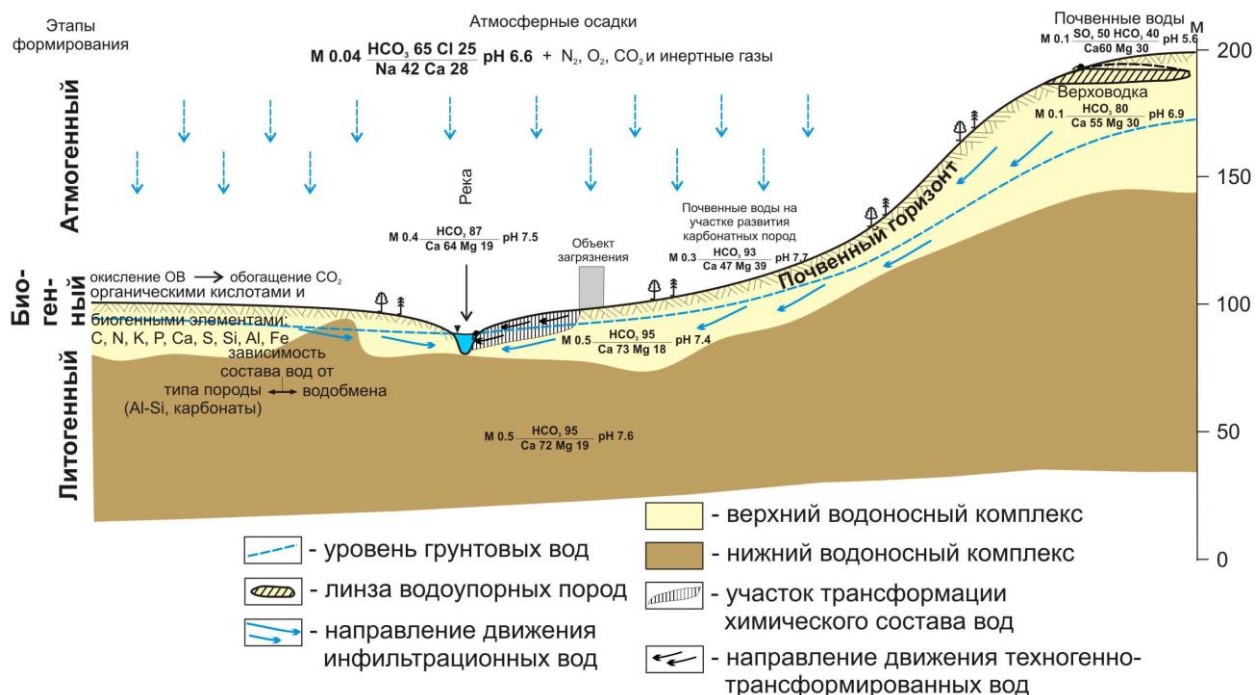


Рис. 7. Схема формирования химического состава подземных вод

карбонатов. Величина общей минерализации этих лизиметрических вод может достигать 300 мг/л, содержания Ca – 30 мг/л, Mg – 15 мг/л, HCO₃ – 250 мг/л.

Просачиваясь вниз, слабокислые растворы взаимодействуют с минеральной частью почв и постепенно подщелачиваются. Например, состав верховодки (рис. 7), залегающей на поверхности слабопроницаемых горных пород, уже резко отличается от состава атмосферных осадков. Эти воды имеют околонеутральные значения pH и HCO₃/Ca-Mg состав и более высокие содержания Ca, Mg, Si, CO₂, C_{орг}, а также ряда микроэлементов.

По мере движения почвенных вод к подстилающим породам они обедняются биогенными элементами и обогащаются минеральными (Si, Mg, Na, иногда Fe и Al). Дальнейшая эволюция состава вод протекает на *литогенном этапе* и контролируется характером водообмена и типом водовмещающих пород (алюмосиликаты и карбонаты). В связи с тем, что растворимость карбонатов значительно выше, чем для большинства алюмосиликатов, их растворение происходит быстрее. В бескарбонатных разностях пород гидролиз алюмосиликатов является преобладающим процессом, определяющим соленость и геохимический облик изучаемых нами вод. При этом в подавляющем большинстве случаев в пределах алюмосиликатных пород воды уже насыщены относительно вторичных глинистых минералов, но продолжают оставаться неравновесными с первичными алюмосиликатами, которые и служат основными источниками химических элементов в водах (рис. 6). Неравновесное состояние с первичными алюмосиликатами приводит к их медленному растворению с переводом Ca и других элементов в раствор по реакции, например:



с дальнейшей нейтрализацией щелочности по реакции:



в результате чего образуются гидрокарбонатные воды, как правило, кальциевого состава. Анализируя усредненные данные химического состава подземных вод территории исследований таблицы 1, не трудно заметить, что другие компоненты, и, в частности, Na накапливаются в небольших количествах. Дело в том, что в условиях влажного климата, который характерен для исследуемой территории, подземный сток, возникающий в результате инфильтрации атмосферных осадков, заканчивается относительно недалеко от области питания, соответственно для накопления Na не достаточно времени. В доказательство этого можно привести, что во всех подземных водах сумма ионов HCO₃⁻, Ca²⁺ и Mg²⁺ составляет обычно около 90 % всех водорастворенных солей. Это значит, что содообразование не характерный для подземных вод исследуемой территории процесс. Следовательно, эволюция состава вод протекает на начальной стадии литогенного этапа их формирования. При этом, не смотря на относительно небольшое время взаимодействия подземных вод с горными породами, их химический состав претерпевает существенные изменения от этапа к этапу (рис. 7). В сравнении с атмосферными осадками, которые выступают основным источником питания подземных вод, общая минерализация увеличивается в 10 раз и более, pH – на один - два математических порядка, HCO₃⁻ – в 20 раз и более, Ca²⁺ – более чем в 30 раз, Si – в 30 раз и более и т.д., а на локальных участках, где

становится доминирующим антропогенный фактор, химический состав вод может претерпевать еще большие изменения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований установлено, что геохимические особенности подземных вод верхнего и нижнего этажей выражаются в однообразии анионно-катионного состава – гидрокарбонатные воды с преобладанием кальция. В целом химический состав подземных вод исследуемой ландшафтной зоны (южной тайги) типичен для вод, не подверженных процессам континентального засоления, об этом, в частности, свидетельствуют низкие значения натрия, хлоридов и сульфатов, а также минерализации и рН вод.

Химический состав речных вод близок по составу к подземным водам, что связано с небольшой водностью малых рек, в питании которых доля подземной составляющей в меженный период достаточно велика, а влияние процессов разбавления речных вод атмосферными осадками становится минимальным.

На фоне вод с естественным формированием их химического состава выделяются техногенно-трансформированные воды. При этом наибольшие следы трансформации несут речные воды, самые наименьшие – подземные воды коренных пород. Самыми неблагоприятными в экологическом отношении являются водопункты, которые находятся в зоне влияния СПУ. К наиболее яркому проявлению загрязнения относится полная трансформация макросостава и изменение геохимического облика речных вод от гидрокарбонатных кальциевых до хлоридных натриевых.

Все изученные природные воды района исследований равновесны с вторичными алюмосиликатными минералами, а их осаждение ведет к переходу от одного геохимического типа вод к другому.

Формирование доминирующей кальциевой, а не натриевой компоненты обусловлено небольшим временем взаимодействия в системе вода-порода (интенсивностью водообмена), эволюция состава вод протекает на начальной стадии литогенного этапа их формирования.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Работы, опубликованные в изданиях, входящих в перечень ВАК:

1. **Колубаева, Ю.В.** Геохимия вод северной части Колывань-Томской складчатой зоны / Ю.В. Колубаева, С.Л. Шварцев, Ю.Г. Копылова // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2010. – № 2. – С. 50-58.
2. **Колубаева, Ю.В.** Равновесно-неравновесное состояние природных вод северной части Колывань-Томской складчатой зоны с ведущими минералами вмещающих горных пород / Ю.В. Колубаева // Вестник Томского государственного университета. – 2012. – № 364. – С.167-172.
3. **Колубаева, Ю.В.** Формы миграции химических элементов в водах северной части Колывань-Томской складчатой зоны / Ю.В. Колубаева // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т.322. – № 1. – С. 136-141.

4. **Колубаева, Ю.В.** Химический состав подземных вод зоны активного водообмена территории северной части Колывань-Томской складчатой зоны / Ю.В. Колубаева // Вестник Томского государственного университета. – 2015. – № 391. – С.202-208.

Работы, опубликованные в других изданиях:

5. **Колубаева, Ю.В.** Геохимические типы вод северной части Колывань-Томской складчатой зоны / Ю.В. Колубаева // Проблемы геологии и освоения недр: Труды X Международного научного симпозиума им. академика М.А. Усова. – Томск, 2006. – Т.1. – С.194-196.
6. **Колубаева, Ю.В.** К вопросу оценки экогеохимической обстановки территории центральной части Томь-Яйского междуречья (Томский район Томской области) / Ю.В. Колубаева // Подземная гидросфера: Материалы XVIII Всероссийского совещания по подземным водам востока России. – Иркутск, 2006. – С. 401-404.
7. **Колубаева, Ю.В.** Равновесие природных вод Томь-Яйского междуречья (северная часть Колывань-Томской складчатой зоны) с ведущими минералами / Ю.В. Колубаева, Ю.Г. Копылова // Гидрогеохимия осадочных бассейнов: Материалы Российской научной конференции. – Томск, 2007. – С. 256-262.
8. **Колубаева, Ю.В.** Характеристика химического состава подземных и поверхностных вод северной части Колывань-Томской складчатой зоны / Ю.В. Колубаева // Трофимуковские чтения – 2008: Труды Всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных ученых. – Новосибирск, 2008. – Т. 1. – С. 132-135.
9. **Колубаева, Ю.В.** Этапы формирования химического состава природных вод Томь-Яйского междуречья / Ю.В. Колубаева // Подземная гидросфера: Материалы XX Всероссийского совещания по подземным водам востока России. – Иркутск: Изд-во ООО «Географ», 2012. – С. 199-203.
10. **Колубаева, Ю.В.** Роль алюмосиликатных горных пород в формировании состава природных вод северной части Колывань-Томской складчатой зоны / Ю.В. Колубаева // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: Материалы Всероссийской конференции с участием иностранных ученых. – Томск: Изд-во НТЛ, 2012. – С. 144-147.
11. **Колубаева, Ю.В.** Антропогенное преобразование состава природных вод северной части Колывань-Томской складчатой зоны / Ю.В. Колубаева // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXV Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика». – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2013. – С. 118-120.
12. **Колубаева, Ю.В.** Химический состав подземных вод территории Томь-Яйского междуречья / Ю.В. Колубаева // Науки о Земле. Современное состояние: Материалы II Всероссийской молодежной научно-практической школы-конференции. – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. – С. 173-175.
13. **Колубаева, Ю.В.** Гидрогеохимические особенности состава подземных вод северной части Колывань-Томской складчатой зоны (Томский район Томской области) / Ю.В. Колубаева // VII Сибирская научно-практическая конференция молодых ученых по наукам о Земле (с участием иностранных специалистов): Материалы конференции. – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. – С. 297-298.
14. **Колубаева, Ю.В.** Закономерности распределения химических элементов в подземных водах северной части Колывань-Томской складчатой зоны / Ю.В. Колубаева // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: Материалы Второй Всероссийской конференции с международным участием. – Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2015. – С. 279-282.