

Введение

Актуальность работы.

Среди водных ресурсов подземные воды занимают ведущую позицию при использовании их в различных целях водопользования. Одно из ведущих направлений их применения это питьевое назначение, в связи с лучшей защищенностью по сравнению с поверхностными водами от различных видов загрязнения. Подземные воды Тывы в виде родников активно используются населением для этих целей. При этом важно отметить, что воды родников применяются жителями республики для питья с целью обеспечения, как общечеловеческих нужд, так и в бальнеологических целях при децентрализованной системе водопользования. Оценка качества этих вод производится лишь визуально и по вкусовым свойствам воды, без уточнения особенностей ее химического состава, а также передаваемой из поколения в поколение информации о лечебных свойствах этих вод. В настоящее время на территории Республики Тыва насчитывается около 140 источников. Ежегодно с 20-х чисел июня по вторую половину августа тысячи людей республики и близлежащих регионов (Красноярский край, Хакасия, Алтайский край и др.) посещают места выхода родников для отдыха и лечения различного рода заболеваний.

Недостаточная изученность химического состава подземных вод родников Республики Тыва и их бальнеологические свойства, начатая Е. В. Пиннекером ещё в 60-х годах, и в настоящее время сохраняет свою актуальность в связи с возросшим интересом к подземным водам как туристическо - рекреационному объекту и бальнеоресурсу не смотря на труднодоступность родников и отсутствие с ними дорожного сообщения. В подземных водах исследуемой территории практически не изучена распространенность микрокомпонентов. Современная аналитическая база с высокочувствительными методами анализа, новыми аналитическими методиками и приборами позволяет получить данные о химическом составе

вод различного геохимического типа и минерализации с определением различных уровней содержаний элементов в водах.

Изучение геохимических особенностей подземных вод Тывы началось в 50-х годах. Первой сводкой о минеральных водах Тувы было сообщение в статье В. М. Левченко в 1935 г. Более полное описание количественного и качественного состава вод родников Тывы представлено в трудах Е. В. Пиннекера (1968 г.) «Минеральные воды Тувы».

Исходные данные к работе. В основу магистерской диссертации по изучению химического состава подземных вод Центральной и Западной Тывы положены результаты полевых и лабораторных исследований состава подземных вод этой территории, проведенных летом 2013 года. Работы проводились сотрудниками Тывинского государственного университета (с участием студентов), медицинских центров Тывы, общественной организации «Сохранение Аржаанов Республики Тыва», «Лабораторией аржаанологии и туризма» совместно с ПНИЛ гидрогеохимии научно-образовательного центра «Вода» ИПР ТПУ (Копылова Ю.Г., Хвощевская А. А., Гусева Н. В.) с участием автора. На этой территории было отобрано 26 проб воды из родников, имеющих различную степень популярности у населения республики.

Целью работы является изучение химического состава родников Центральной и Западной Тывы.

Для достижения поставленной цели предусмотрено решить следующие **задачи:**

1. Изучить природно-климатические и гидрогеологические условия формирования состава подземных вод;
2. Изучить химический состав родников, установив распространённость в водах макро- и микрокомпонентов;
3. Выявить особенности поведения в родниках макро- и микрокомпонентов;
4. Оценить качество родников;

5. Оценить возможность использования родниковых вод в питьевых и бальнеологических целях.

Объектом исследования являются подземные воды родников Центральной и Западной Тывы.

В результате выполнения работы проведено уточнение ранее полученных данных о химическом составе вод родников Центральной и Западной Тывы, а также получены новые с использованием высокочувствительных методов анализа и показаны особенности поведения макро- и микрокомпонентов этих вод. На основе полученных данных о химическом составе родников, проведена оценка их качества и гидрохимическая типизация этих вод на соответствие утвержденным типам минеральных вод. Эта информация может быть использована для дальнейшего изучения особенностей состава подземных вод республики Тыва с целью развития ее туристического и курортного потенциала, что будет способствовать социально-экономическому развитию региона.

Практическая значимость результатов ВКР. Результаты работы внедрены и используются в НИИ Медико-социальных проблем и управления Республики Тыва.

Апробация работы. По теме диссертации опубликовано 4 работы. Отдельные разделы диссертации представлены на международных и всероссийских конференциях: Международный симпозиум имени академика М.А.Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (2015, 2016 г., Томск), Всероссийская научная студенческая конференция с элементами научной школы имени профессора М. К. Коровина (2014 г., Томск), Международная научно-практическая конференция «Курортная база и природные лечебно-оздоровительные местности Тувы и сопредельных регионов» (2015 г., Кызыл), Международная научно-практическая конференция «Возможности развития краеведения и туризма Сибирского региона и сопредельных территорий» (2015 г., Томск).

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

1. Природные условия исследуемого района

1.1 Географическое положение

Республика Тыва расположена в центре Азии и является типичной горной страной. Для Республики характерно сочетание межгорных котловин и высоких горных хребтов [1]. Общая площадь Тывинской Республики составляет 2573 тыс. км², а протяжённость по меридиану составляет 430 км [2]. Как показывают данные рисунка 1, на территории Республики Тыва выделяют 17 административных районов.

Границы республики на востоке, западе и севере проходят по высоким (до 2500 - 3000 м) горным хребтам Чихачева, Шапшальскому, Западному и Восточному Саянам и горам Прихубсугулья, которые отделяют ее от территорий Восточной Сибири, Северной Монголии и Горного Алтая [Приложение А]. Следуя вдоль южных горных массивов Мунгун-Тайга, хребта Танну-Ола и нагорья Сангилен, административная граница на юге и юго – востоке проходит по северной окраине бессточных котловин и приподнятым равнинам Монгольской Республики [1].

Хребты Западный и Восточный Танну-Ола (Рисунок 2), целиком находящиеся на территории Тывы, являются важным природным рубежом, к северу от которого на всех чертах природы Тывы сказывается сильное влияние Сибири, а к югу — полупустынных пространств Монголии.

По этим же хребтам проходит крупный водораздел Евразии - между замкнутыми котловинами Центральной Азии и бассейном реки Енисей, которому, за исключением крайнего юга, принадлежит территория республики [1].

Район исследований относится к территории Центральной и Западной Тывы, в которые входят Монгун-Тайгинский, Бай-Тайгинский, Барун-Хемчикский, Дзун-Хемчикский, Сут-Хольский, Чаа-Хольский, Улуг-Хемский, Кызылский, Тандинский, Овюрский, Тес-Хемский районы, а также западная часть Каа-Хемского и юго-западная Пий-Хемского районов (Рисунок 1).

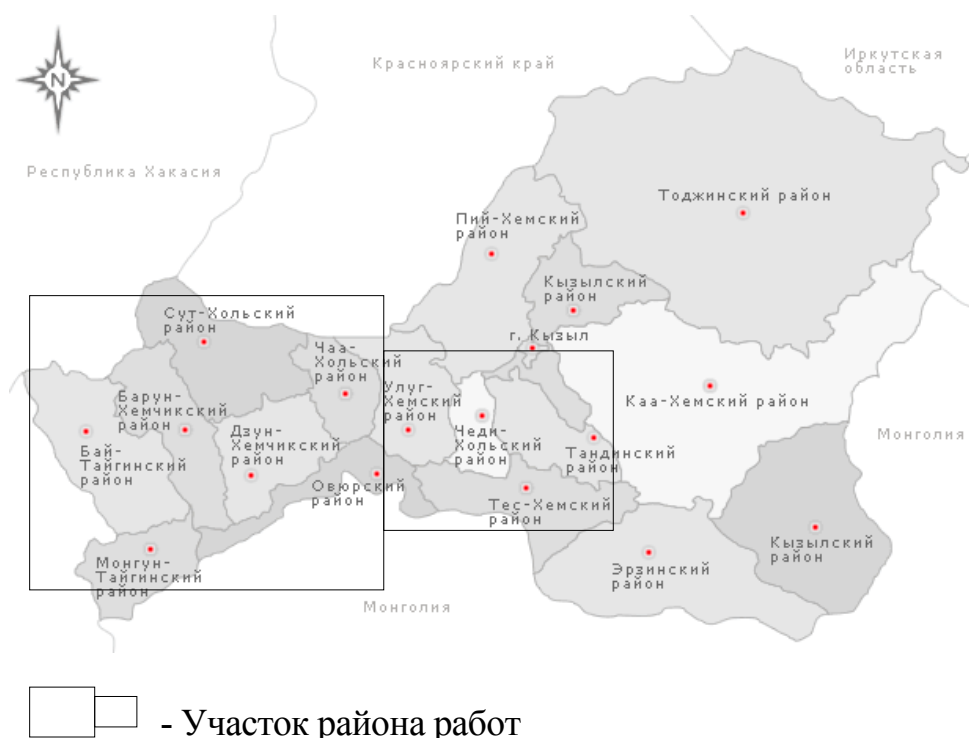


Рисунок 1-Схема расположения участка района работ



Рисунок 2- Хребет Западный Танну-Ола (фото автора)

Наиболее крупными населёнными пунктами участка работ являются: Тели, Кызыл-Мажалык, Чадан, Шагонар, Чаа-Холь, Суг-Аксы, Балгавик, Самагалтай и Бай-хак.

В пределах исследованной территории имеется ещё целый ряд менее значительных населённых пунктов. В перечисленных населённых пунктах, в основном, и сосредоточено население Тывы, состоящее из тувинцев и русских. Центральная и Западная Тыва может считаться наиболее густо

заселённой по сравнению со всей остальной территорией Тывинской Республики [2].

1.2 Климатические условия

Территория Центральной и Западной Тывы находится в умеренном климатическом поясе. Описываемый регион обладает резко континентальным климатом, характеризующимся резкими колебаниями температуры, сухостью и небольшим количеством атмосферных осадков.

Большое влияние на последние, оказывает изолированное положение региона - он со всех сторон окружён хребтами, через которые лишь с трудом и в небольшом количестве могут проникать холодные массы воздуха с севера и тепла с юга[1].

На территории Республики Тыва расположено десять метеорологических станций [3], которые распределены по территории республики неравномерно. Для оценки температурного режима исследуемой территории выбрана метеорологическая станция Кызыл, располагающаяся в Тувинской котловине центральной части Тывы [4].

На исследуемой части Республики проанализированы метеорологические ряды включительно до 2015 года.

Зима на исследуемой территории длится с ноября по апрель. Средняя температура воздуха в январе колеблется от -24,9 до -35,1⁰С. Лето в Республике Тыва характеризуется как сухое и жаркое, средняя температура которого изменяется в пределах от +18,9 до +22,0⁰С [5].

Как показывают данные рисунка 3, кривая годового хода температуры воздуха имеет простой вид. Наиболее интенсивные изменения температуры воздуха в годовом ходе наблюдаются в периоды с февраля по июль и с августа по декабрь, что подтверждается данными таблицы 1. Минимум наблюдается в январе и составляет -30,5 °С, а максимум в июле +20,2 °С.

Таблица 1- Средняя месячная температура воздуха (2015 г.), °С [5]

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-------	---	----	-----	----	---	----	-----	------	----	---	----	-----

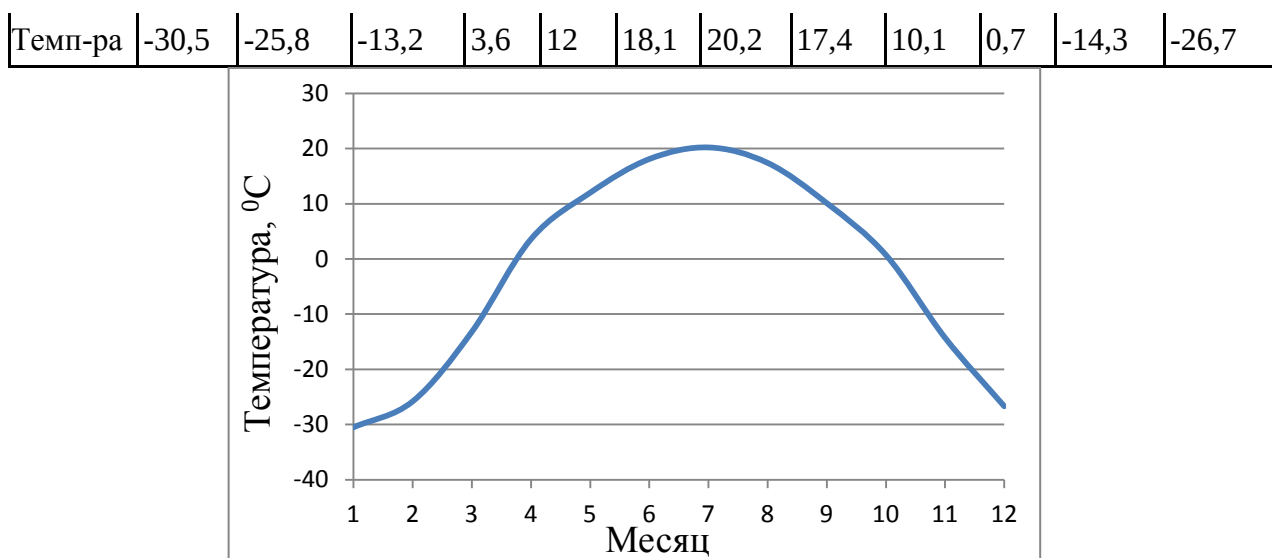


Рисунок 3 – Годовой ход температуры воздуха на станции Кызыл

Абсолютный минимум наблюдается в декабре и составляет $-52,6^{\circ}\text{C}$, а абсолютный максимум наблюдается в июле и равен $+40,7^{\circ}\text{C}$ (таблица 2). Таким образом, средняя многолетняя температура воздуха в самый теплый месяц (июль) на $23,3^{\circ}\text{C}$ ниже по сравнению с абсолютным максимумом, а в самый холодный месяц (январь) на $25,9^{\circ}\text{C}$ выше, по сравнению с абсолютным минимумом.

Таблица 2- Абсолютный минимум и максимум температуры воздуха (по станции Кызыл), $^{\circ}\text{C}$ [5]

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Абсолютный минимум												
Темпер-ра	-52,6	-54,0	-45,2	-27,3	-10,7	-1,8	2,8	-0,7	-10,1	-20,5	-46,1	-52,6
Абсолютный максимум												
Темпер-ра	-5,8	0,0	19,6	30,6	35,6	39,1	40,7	38,3	33,0	23,3	13,0	-1,0

Одним из элементов режима увлажнения является величина влажности воздуха. По величине упругости водяного пара можно судить о влажности воздуха в различных частях исследуемой территории. Упругость водяного пара, содержащегося в воздухе, как и температура воздуха, наименьших значений на метеостанции Кызыл достигает зимой – в январе и феврале, составляя 0,5 и 0,8 гПа соответственно, а наибольших – в июле, достигая 13,0 гПа (Таблица 3). Упругость водяного пара изменяется незначительно от декабря к февралю. С марта по июль влагосодержание увеличивается

примерно на 9,3 гПа. В июне-августе изменчивость влагосодержания также мала, как и зимой. С августа по ноябрь влагосодержание постепенно уменьшается.

Таблица 3- Средняя месячная упругость водяного пара, гПа [5]

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Упругость	0,5	0,8	2,2	3,9	5,8	9,9	13,0	11,5	7,5	4,3	2,0	0,7

Степень насыщения воздуха водяным паром, характеризующая относительную влажность воздуха меняется в течение года в различных пределах. Как показывают данные таблицы 4, зимой относительная влажность воздуха меняется в небольших пределах от 77 до 80%, а летом колеблется в широких пределах, изменяясь от 50 до 61 %.

Таблица 4- Средняя месячная относительная влажность воздуха, % [5]

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Влажность	78	77	74	48	43	50	58	61	62	66	80	80

Годовой ход упругости водяного пара имеет простой вид, с одним максимумом в июле (13,0 гПа) и одним минимумом в январе (0,5 гПа) (Рисунок 4). Упругость водяного пара изменяется незначительно в течение года, амплитуда которого составляет 12,5 гПа.

Кривая годового хода относительной влажности воздуха для станции Кызыл имеет простой вид. С максимумом в декабре (80%) и минимумом в мае (43%). Амплитуда годового хода равна 37%. С января по март и с ноября по декабрь относительная влажность изменяется незначительно. Резкое уменьшение происходит с марта по июль, а с августа по ноябрь - увеличение.

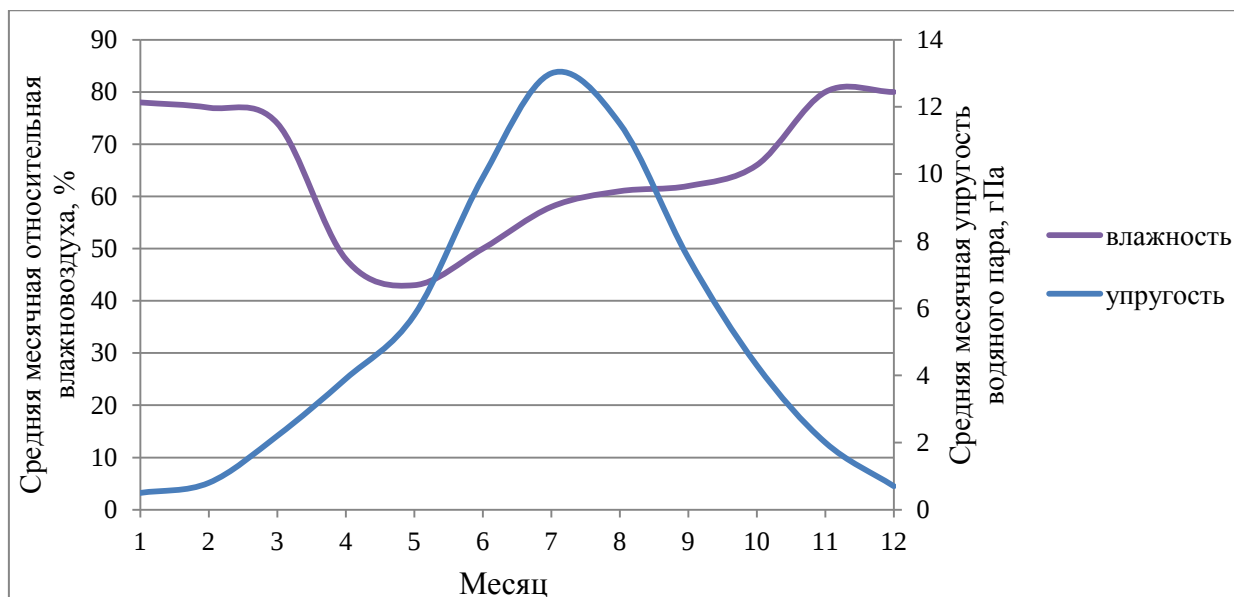


Рисунок 4 – Годовой ход упругости водяного пара и относительной влажности воздуха по Кызыльской метеорологической станции

Годовое количество осадков на Кызыльской станции равно 221 мм - это сравнительно малое количество, что связано с физико-географическим положением территории. В течение года осадки выпадают неравномерно, что наблюдается на рисунке 5. В летний период их выпадает больше. Минимум осадков наблюдается в марте и составляет 3,9 мм, а максимум наблюдается в июле и равен 50,5 мм. Среднее количество осадков за теплый период (с 28 февраля по 29 ноября) составляет 200 мм, и, соответственно за холодный – 21 мм.

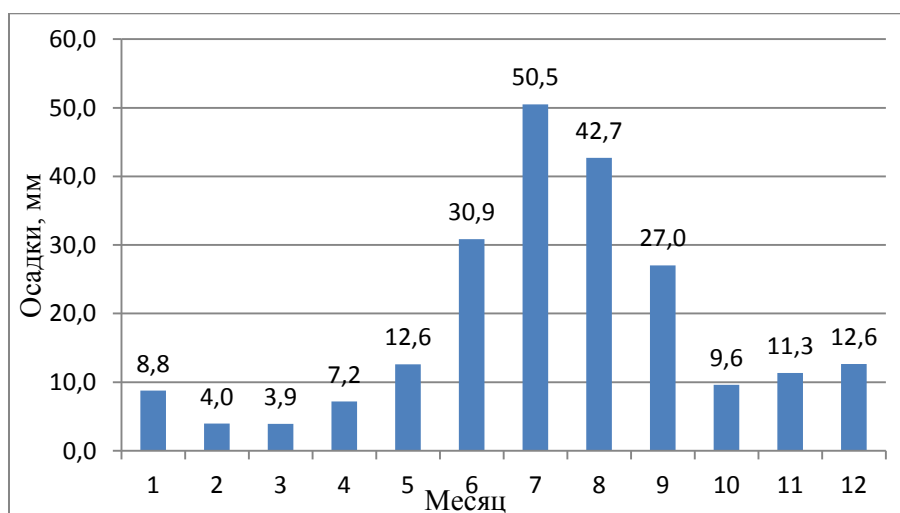


Рисунок 5- Годовой ход атмосферных осадков (по станции Кызыл)

Преобладающие направления ветра для данной станции в зимний период является восточное и северо-восточное, а в летний – северное и восточное, что подтверждают данные таблицы 5. Таким образом, в годовом ходе преобладают северные, восточные и северо-восточные ветры. В зависимости от сезона повторяемость направления ветра меняется. Зимой штили более часты (25%), чем летом (21%).

Таблица 5- Повторяемость направлений ветра и штилей, % [5]

Месяц	Направления ветра								Штиль
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
I	5,3	25,1	42,1	6,7	5,5	9,0	4,6	1,6	41,3
VI	24	13,6	19,3	4,8	4,6	6,7	10,8	16,2	10,9
год	14,8	16,4	28,4	6,9	5,7	8,5	9,2	10,0	22,3

Как показывают данные таблицы 5, максимальная скорость ветра наблюдается в мае, апреле, составляя в среднем 2,2 м/с, а в январе и декабре 0,8 м/с, являясь минимальной.

Таблица 6- Средняя месячная скорость ветра, м/с [5]

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Скорость ветра	0,8	1,1	1,7	2,6	2,8	2,4	2,0	2,0	1,8	1,5	1,1	0,8

С мая по август скорость ветра изменяется незначительно, в пределах от 2,0 до 2,8 м/с. Резкое его увеличение наблюдается с января по май и с августа по декабрь, в промежутке от 0,8 до 2,8 м/с (Рисунок 6).

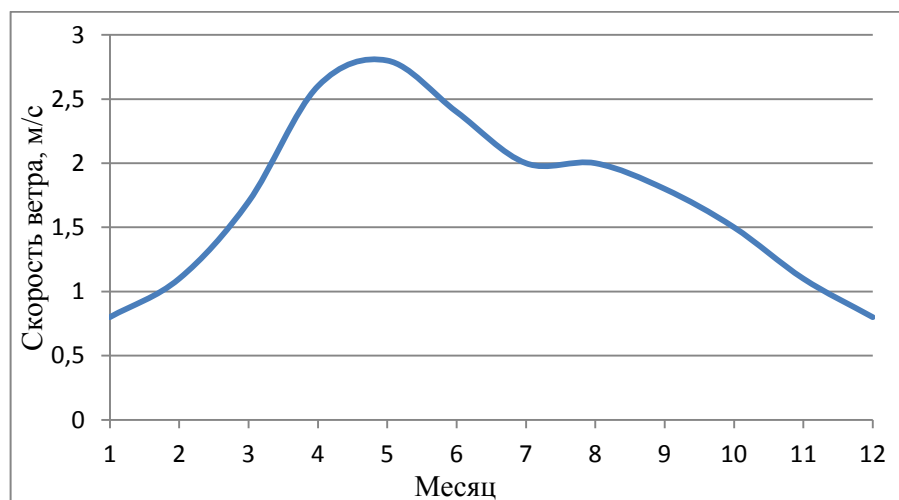


Рисунок 6- Годовой ход скорости ветра (по станции Кызыл)

Скорости ветра в течение года меняются незначительно. За год наблюдается 26 дней с сильным ветром, большая часть которых приходится на летний период (Таблица 7).

Таблица 7- Среднее число дней с сильным ветром (более 15 м/с) [5]

Месяц	I	VII	Год
Число дней	0,1	2,3	26,4

1.3 Гидрология

Главными водными артериями Республики Тыва являются Верхний Енисей, протяженностью 191 км и две его составляющих на востоке - реки Большой Енисей, протяженностью 560 км и Малый Енисей, протяженностью 680 км, а на западе - крупный левый приток река Хемчик (310 км) [1].

Верхний Енисей является наиболее крупной рекой Тывы, текущей по северной окраине Тувинской котловины от Кызыла до впадения левого притока - реки Хемчик, как показано на карте общей гидрогеологической сети Республики Тыва [Приложение А], а затем круто поворачивающей на север и прорезающей горные хребты Западного Саяна [6]. Русло Верхнего Енисея часто разбивается на рукава и притоки, блуждающие по широкому дну долины. Впадающие в него реки, как правило, невелики (40 - 60 км) и маловодны; более крупны левые притоки, берущие начало с северных склонов хребта Танну-Ола: Элегест (178 км) и Чаа-Холь (90 км), а также Хемчик, берущий начало на восточном склоне Шапшала (Рисунок 7). Бассейну Хемчика, дренирующего западную часть Тувинской котловины, принадлежат реки, стекающие с южного склона водораздельного хребта Западного Саяна, восточного склона Шапшала и северного склона Западного Танну-Ола. Длина их обычно колеблется от 60 до 100 км, иногда достигает 202 км, например, река Алаш (от истока озера Кара-Холь) [7].



Рисунок 7- Река Хемчик (Фото автора)

Наиболее значительной рекой северной части Убсанурской котловины является река Тес-Хем, образующая обширную дельту при впадении в озера Убса-Нур. Общая длина реки 770 км (из них - в Тыве 375 км); наиболее значительным притоком является Эрзин с Нарыном, стекающим с южных склонов нагорья Сангилен. Кроме реки Тес-Хем, в озеро Убса- Нур впадают реки Торгалык и Саглы, начинающиеся на южном склоне Западного Танну-Ола.

Режим основных рек Тувы определяется континентальностью климата и горным характером рельефа. Основную массу воды (около 70 - 80% годового стока) реки получают за счет весенне-летнего таяния снежного покрова в среднегорном и высокогорном поясах (весенне-летнее половодье), а также за счет летних осадков, вызывающих в отдельные годы сильные паводки [2]. Реки, протекающие через крупные озера (особенно в пределах Тоджинской котловины), отличаются более равномерным режимом стока. Важным регулятором стока рек среднегорного пояса являются также леса.

В Туве насчитывается около 100 значительных озер общей площадью около 370 км². Особенно много озер, главным образом ледникового и ледниково-тектонического происхождения, в Тоджинской котловине (Тоджа,

или Азас, Маны-Холь, Улуг-Холь и др.) и в пределах гор юго-восточной (Тере-Холь и др.) и западной (Хиндигтиг-Холь, Кара-Холь, Сют-Холь и др.) частей Тывы [7].



Рисунок 8-Озеро Тере-Холь (Фото автора)

Среди озер Тувинской котловины выделяется проточное озеро Чаготай, а также бессточные соленые озера Хадын и Чедер. В Убсанурской котловине, на левобережье реки Тес-Хем, находится пресное озеро Тере-Холь [6].

1.4 Основные черты геологического строения

Геологическая изученность района Центральной и Западной Тывы может считаться весьма детальной. Представленное ниже краткое геологическое описание составлено по материалам многих исследователей, которые на протяжении целого ряда лет занимаются изучением геологического строения этого обширного региона. В группу учёных входили Боброва В. А., Вознесенский Д. В., Волкова В. В., Владимирский Г. Н., Донина А. Л., Зубрилина Л. С., Иванова Г. И., Кузнецова В. А и многие другие [2].

Особенностями истории геологического развития обусловлено разнообразие и достаточная сложность взаимоотношений различных геологических образований, наблюдаемых на рассматриваемой территории. В связи с этим, Республика разделена на ряд зон по определенным отрезкам

времени в истории геологического развития Тывы. Всего выделено восемь таких зон (рисунок 9).

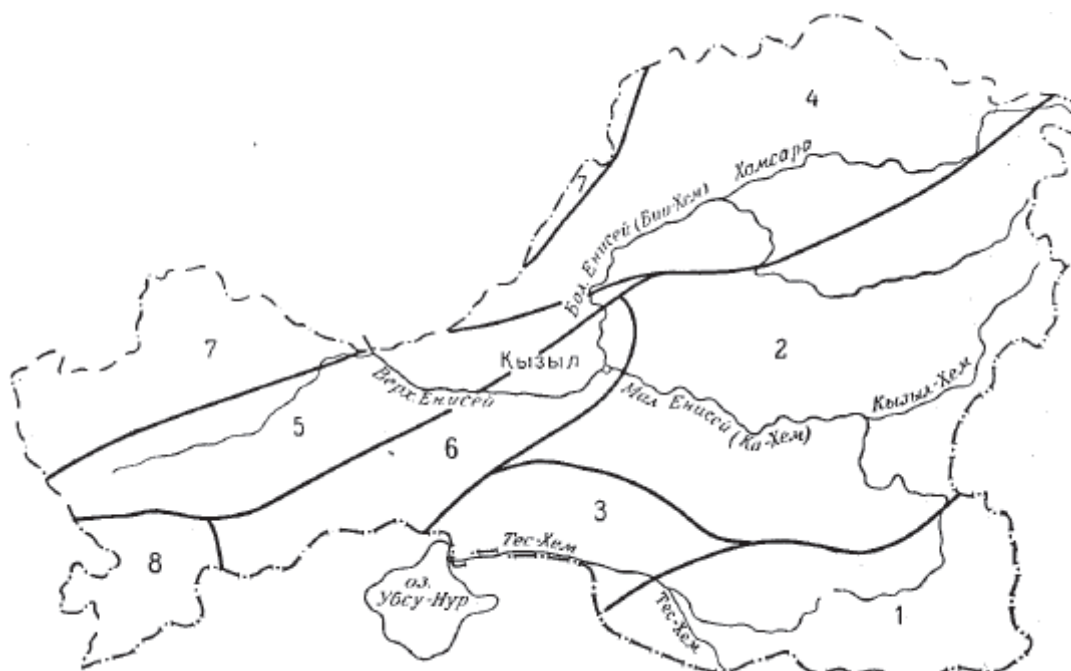


Рисунок 9 - Схема расположения структурно-фациальных зон 1 — Сангиленская, 2 — Каахемская, 3 — Восточно-Таннуольская, 4 — Куртушибинско-Хамсаринская, 5 — Хемчикская, 6 — Центрально-Тувинская, 7 — Западно-Саянская, 8 — Горно-Алтайская

[1]

Рассматриваемой областью исследований является лишь часть республики, а именно центральная и западная, поэтому общая краткая характеристика сводится к следующим структурно фаціальным зонам:

Восточно-Таннуольская зона. Здесь нижнекембрийские породы включают значительно больше эффузивов кислого состава, большую роль в этой зоне играют также карбонатные породы [1]. Кембрийские отложения в этой зоне расчленены на большее, чем в других районах, число свит.

Хемчикская зона принадлежит крупному прогибу, примыкающему к каледонской структуре Западного Саяна, от которой она так же, как и впадина западной части Куртушибинско-Хамсаринской зоны, отделена глубинным Саяно-Тувинским разломом. Прогиб этот выполнен в основном отложениями ордовика и силура. В нем также распространены (только в северо-восточной части) и верхнекембрийские отложения. В отдельных участках известны девонские отложения, несогласно лежащие на силурийских [6].

Прогиб Хемчикской зоны (Хемчикско-Систигхемский прогиб) наложен на структуры салаирид. Нижнекембрийские отложения выступают из-под пород, выполняющих прогиб, в нескольких узких, субшироко вытянутых горст-антиклиналях. В южной полосе выходов нижнекембрийских отложений последние почти всюду имеют отчетливое двухчленное строение. В нижней свите преобладают эффузивы основного и реже среднего состава. Верхняя свита — преимущественно терригенная, местами терригенно-карбонатная; большое место в ней занимают различные туфогенные образования. Местами весьма обильна фауна археоциат и трилобитов, в основном приуроченная к верхней свите. Северная полоса выходов нижнекембрийских отложений характеризуется развитием эффузивно-сланцевых пород, среди которых значительное место принадлежит спилитам и кремнистым сланцам. Эти отложения весьма близки нижнекембрийским породам Западно-Саянской зоны. Кембрийские отложения в обеих полосах вмещают тела гипербазитов.

В Хемчикской зоне известны палеонтологически доказанные среднекембрийские отложения, распространенные весьма ограниченно (окрестности г. Шагонара). Верхнекембрийские отложения, распространенные, как отмечалось, только в северо-восточной части зоны, как по составу, так и соотношению с вышележащими и нижележащими толщами, аналогичны таковым в Куртушибинско-Хамсаринской зоне [2].

Наиболее типичны для Хемчикской зоны широко распространенные здесь ордовикские отложения, образующие непрерывный разрез с силурийскими. Они представлены пестроцветными и красноцветными терригенными породами, несогласно лежащими на нижнекембрийских, а местами и верхнекембрийских отложениях. В северо-восточной части зоны вместе с терригенными породами присутствуют и карбонатные. Ордовикские отложения содержат морскую фауну. Силурийские отложения — преимущественно терригенно-карбонатные, сменяющиеся в верхней части (верхний силур) красноцветными — также палеонтологически

охарактеризованы. Из интрузивных пород, распространенных в этой зоне незначительно, присутствуют только среднепалеозойские (девонские).

Центрально-Тувинская зона приурочена к Тувинскому межгорному прогибу. Характеризуется преобладанием среднепалеозойских отложений, наибольшее развитие среди которых имеют девонские. Наиболее древними из пород этой зоны являются силурийские, распространенные сравнительно нешироко. В разных местах, в зависимости от внутреннего строения прогиба, они слагают разные разрезы, представленные в основном терригенно-карбонатными и красноцветными терригенными отложениями. Разрезы девона также различны в разных местах зоны [1]. В нижнем девоне в общем преобладают вулканогенные породы, а в среднем и верхнем - красноцветные терригенные. В среднем девоне в некоторых местах известны карбонатные морские отложения. В хребте Западный Танну-Ола значительно развиты сероцветные отложения нижнего карбона и очень ограничено - среднего и верхнего.

Западно-Саянская зона, являясь частью Западного Саяна, характеризуется геологическим строением, свойственным последнему. Наиболее широко развиты здесь довольно однообразные мощные песчано-сланцевые толщи среднего и верхнего кембрия и ордовика, меньше силура [8]. Верхнекембрийские отложения близки таковым, распространенным в Куртушибинско - Хамсаринской и Хемчикской зонах. Ордовикские существенно отличаются от одновозрастных пород этих зон по своему составу, мощности, характеру дислокаций и метаморфизму. Нижнекембрийские породы в Западно-Саянской зоне представлены рассланцованными зелено-каменными измененными эффузивами, преимущественно основного состава и разнообразными сланцами, нередко кремнистыми. Эти породы вмещают многочисленные, в том числе крупные тела гипербазитов и образуют типичный офиолитовый пояс.

Горно-Алтайская зона по своему геологическому строению сходна с Западно-Саянской зоной. Следует отметить только большее распространение

здесь интрузий, которые в этой зоне образуют крупные массивы, тогда как в Западно-Саянской они слагают чаще небольшие тела. Интрузии гранитоидов здесь также имеют ордовикский и среднепалеозойский возраст[9].

1.4 Стратиграфия

Тувинская котловина, захватывающая территорию описываемого региона, является одной из крупных межгорных впадин Алтае-Саянской складчатой области и прошла весьма сложную историю развития от геосинскинали в кэмбрийское время, к передовому прогибу в ордовике и силуре, и межгорной впадине в девонское и каменноугольное время [1].

Геологическое строение Центральной и Западной Тывы считается весьма сложным. Интенсивно дислоцированные осадочные и вулканогенные породы прорваны интрузиями различных размеров, состава и возраста, которые занимают в геологическом разрезе региона подчинённое положение. Основную же роль в геологическом строении территории Центральной и Западной Тывы играют осадочные породы кэмбрия, ордовика, силура, девона, карбона и юры [Приложение Б.1 и Б.2].Широким развитием также пользуются породы четвертичного возраста, выполняющие широкие долины крупных рек, озёрные котловины и другие пониженные участки рельефа.

Кембрийская система

Кембрийские отложения являются древнейшими породами, распространёнными на территории Центральной и Западной Тывы. В пределах описываемой территории эти отложения относятся преимущественно по возрасту к нижнему кембрию. Нижнекембрийские отложения имеют типично геосинклинальный характер и распространены в Центральной Тыве в бассейне правых притоков реки Верхний Енисей - рек Эжим, Демир-Суг, Эйлиг-Хем и Баян-Гол. Они известны также и в нескольких местах на левом берегу Улуг-Хем. На западе Республики нижнекембрийские отложения занимают сравнительно небольшую площадь. Они образуют несколько узких субшироко ориентированных полос. В

Западной Тыве выделяется эффузивно-осадочная актовракская свита кембрия, в Центральной Тыве - терригенно-карбонатная баянкольская свита.

Нижнекембрийские отложения в Центральной Тыве представлены двумя комплексами пород, образующими две субпараллельные полосы, разделенные крупным разломом [1]. В северной полосе, протягивающейся субширотно в верхнем и среднем течении рек Эйлиг-Хем, Демир-Суг, Эжим и верховьях реки Баян-Гол широко распространены зеленокаменные эффузивы, кремнистые породы, метаморфические сланцы, кварциты, а также мраморизованные известняки. В южной полосе, простирающейся в восток-северо-восточном направлении от среднего и нижнего течения реки Баян-Гол, в низовьях рек Эжим и на левобережье Улуг-Хем (гора Хаирхан) распространены преимущественно конгломераты, песчаники, известняки, меньше - эффузивы и туфы. В северной полосе нижнекембрийские породы более метаморфизованы и рассланцованы, нежели в южной.

Ордовикская система

Ордовикские отложения в пределах исследуемой территории значительно распространены. Наибольшие площади они слагают на западе (Хемчикская и Западно-Саянская структурно-фациальная зоны) и северо-востоке (Куртушибинско-Хамсаринская зона).

Ордовикская система представлена почти исключительно терригенными отложениями. Лишь в отдельных местах известны подчиненные горизонты известковистых пород. На северо-западе региона в междуречье рек Алаш, Ак-Суг, в бассейне рек Большой Уры, Алды-Чешкин, Устю-Ишкин отложения ордовика являются преобладающими в общем комплексе осадочных и магматических образований [2].

Ордовикские отложения вместе с верхним кэмбрием по данным Е. В. Владимирской [5] составляют гигантскую свиту, которая представлена чёрными, зелёными и серыми, метаморфизованными, глинистыми и известково - глинистыми сланцами, алевролитами переслаивающимися с песчаниками.

Шемушдагская свита. Шемушдагская свита широко распространена на западе Тывы в Хемчикской структурно-фациальной зоне. Она прослеживается от нижнего течения реки Барлык на западе до района горы Хаирхан на востоке. Шемушдагская свита представлена исключительно терригенными, частью красноцветными отложениями [5]. В ее составе резко преобладают песчаники, значительную роль играют конгломераты, алевролиты, аргиллиты.

Манчурекская свита. В Западно-Саянской структурно-фациальной зоне ордовикские отложения представлены манчурекской свитой, прослеживающейся от верховьев реки Алаш в бассейне реки Ак-Суг [8]. Сложена она обломочными пестроцветными породами: песчаниками, алевролитами, аргиллитами, в меньшей степени конгломератами и гравелитами. Резко преобладают песчаники.

Силурийская система.

Силурийская система в Тыве имеет значительное распространение и по сравнению с другими системами палеозоя наиболее богата органическими остатками. Отложения силура известны во всех структурно-фациальных зонах Тывы, за исключением Сангиленской. Для всего комплекса силурийских отложений, распространённых в регионе, общим является интенсивная дислоцированность пород, собранных, обычно, в крутые складки. Общая мощность силурийских образований достигает 5000-6000 м.

Атчольская свита. Отложения атчольской свиты распространены в северо-восточной части Тывы и обнажены южнее крупного Оттугтайгинского широтного разлома в среднем течении рек Ат-Чол, в бассейнах Большого и Малого Бус, в нижнем течении реки Улуг-О, в верховье Дерзига, в долине Большого Енисея, в урочище Тараскыр (бассейн реки Туран) и других местах. Самые западные выходы этих отложений, которые по существу находятся уже в Центральной Тыве, известны в бассейне реки Чинжаш. Представлена атчольская свита в основном мелко- и среднезернистыми красноцветными песчаниками и алевролитами [10].

Присутствуют своеобразные «пятнистые» алевропесчаники, обладающие очень характерным обликом, что обусловлено довольно своеобразной макротекстурой: светлые, лиловато-бурые песчаные участки (пятна), сложенные мелким песчаным материалом, четко выделяются на более темном фоне общей мелкозернистой массы породы. Ей свойственно большое непостоянство мощности — от 600 до 2300 м.

Семибратинская свита условно отнесена к верхнечергакскому горизонту. Отложения свиты, распространены незначительно и известны только в среднем течении Большого Енисея, где они выходят на поверхность в районе хребта Семь Братьев, и в бассейнах правых притоков Енисея (Сейба, Хут, Ожу и др.). Представлена семибратинская свита в основном серо-зелеными пестрыми средне- и мелкозернистыми песчаниками, среди которых изредка присутствуют прослои зеленых и коричневых алевролитов, грубозернистых песчаников и гравелитов. В песчаниках и алевролитах очень часто отчетливо выражена косая слоистость.

Онинская свита образована различными известняками - серыми, черными, белыми, бурыми, в разной мере загрязненными терригенным материалом и переходящими местами в известковистые песчаники и мергели [10]. На южных склонах Западного Саяна в составе свиты заметную роль играют табачно-зеленые и красные песчаники. В основании свиты почти повсюду присутствуют базальные слои грубообломочных пород. Мощность свиты варьирует от 1000 до 1800 м.

Дерзигская свита распространена исключительно в Восточной Тыве и приурочена преимущественно к северной и в меньшей мере к центральной ее частям.

Девонская система

Девонские отложения в Тыве распространены преимущественно в Центрально-Тувинской структурно-фациальной зоне, где они широкой полосой протягиваются от бассейна реки Уюк на северо-востоке до реки Каргы на юго-западе, занимая площадь около 15000 км² [2]. Широко

распространены на данной территории неразрывные отложения, представленные песчаниками, алевролитами, гравелитами, известняками, конгломератами, доломитами и аргиллитами.

Карбонская система

Отложения этого возраста пользуются сравнительно ограниченным распространением. Они распространены по правобережью реки Енисей, в междуречье рек Суглуг-Хем и Эрбек, вдоль южного склона хребта Каменный и в ряде других мест. Наряду с песчаниками, встречаются алевролиты, аргиллиты, известняки и весьма характерные белые и фарфоровидные пепловые туфы [1]. В окраске пород преобладают бледные тона - серые, зеленоватые и белые.

Юрская система

В большинстве случаев юрские отложения развиты на отдельных обособленных участках небольших размеров. Только в центре республики они занимают значительные площади, образуя Улугхемский угленосный бассейн.

Эрбекская свита является нижним членом юрских угленосных отложений и основным продуктивным горизонтом в Улугхемской бассейне. Ее выходы прослеживаются вдоль всей периферии бассейна, а в центре его встречаются только в ядрах антиклиналей. Свита состоит из песчаников (преимущественно крупнозернистых), разногалечных конгломератов, алевролитов, аргиллитов (среди которых содержатся углистые и углисто-глинистые породы) и углей. Наиболее распространены крупнозернистые песчаники (составляющие в среднем более 40% от общего объема пород), менее развиты мелкозернистые песчаники (16%) и конгломераты (в среднем 15%, местами до 30%), еще менее — алевролиты (приблизительно 12%) и аргиллиты (8%); наименее распространены углистые аргиллиты (до 1%) и угли (около 2%), тяготеющие главным образом к средней части свиты и реже к ее верхам [1].

Салдамская свита залегает на отложениях эрбекской свиты. Выходы ее занимают значительные площади в центральной части Улугхёмского бассейна. Наиболее полный разрез свиты мощностью около 750 м обнажается на правом берегу нижнего течения реки Элегест, где ее отложения с разрывом и небольшим несогласием перекрыты отложениями вышележащей бомской свиты [2]. В остальных пунктах бассейна верхние горизонты салдамской свиты в большей или меньшей степени смыты. Представлена преимущественно мелкозернистыми отложениями: на долю алевролитов приходится около 60 % от всего количества пород. Подчиненное положение в разрезе занимают углистые аргиллиты (1,6 %), мергелистые и кремнистые известняки (4,1 %) и угли (2,1 %). Песчаники большей частью мелкозернистые, слагают 37,4% разреза.

Бомская свита безугольная толща залегает в центральной части Улугхемского бассейна стратиграфически выше салдамской свиты [1]. Мощность ее отложений составляет около 320 м. В составе свиты явно преобладают песчаники (66,2 %) и алевролиты (30,7 %), имеются конгломераты, слагающие около 3,7 %.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2 История исследований родников Тывы

Первые сведения об исследованиях вод родников Республики Тыва относятся ко второй половине XIX века. В 1858 году учёный, член Сибирской экспедиции Императорского Русского географического общества Крыжин И. С. выполнил первую топо съемку центральной и восточной части Восточного Саяна и впервые посетил источники Чойган и Тывар-Хем, расположенные в хребтах Восточного Саяна. В своём отчёте [11] Крыжин И. С. приводит описание мест расположения вод родников и их воздействие на организм человека после употребления. В 1890 году Африкантов М. А. опубликовал материалы [12], описывающие воды солёного озера Дус-Холь Республики Тыва, которое использовалось в основном с целью извлечения соли. В своей работе автор упоминает о минеральных углекислых водах в верховьях реки Хамсары, сернистых минеральных водах, находящихся в верховьях реки Тариса. Отмечено присутствие в верховьях реки Тариса 4-х родников с сернистыми минеральными водами и 1-го - с содовыми. Кроме того, в его материалах [12] сказано об использовании в целебном отношении минеральных источников, расположенных около озера Хамсарым и Доджонор.

Изучение водных ресурсов Республики Тыва вскоре приостановилось. И лишь спустя 36 лет, после провозглашения Урянхайского края независимой Тувинской Народной Республикой (далее ТНР), известный геолог и географ, впоследствии академик (1926 г.) Обручев В. А. в своей статье [13] провел классификацию вод, разделив их на две группы:

1. углекислые источники и горячие минеральные озера по реке Изиг-Суг;
2. сернистые горячие (50°C) и углекислые ключи Аржаан.

По просьбе правительства ТНР, гидрохимик Левченко В.М. в 1932 году, провел изучение гидроминеральных ресурсов республики и опубликовал в 1935 году сводную статью «Минеральные источники и

грязевые озера Тувинской Народной Республики» [14]. Во времена ТНР были созданы первые курорты Тывы – на озере Чедер и на роднике Уш-Белдир. Немаловажный вклад в изучение бальнеологических свойств вод родников внёс Рогачевский С. Л. изучающий применение грязи и вод в бальнеотерапевтических целях.

С 1949 года на территории Тывы изучение гидроминеральных ресурсов приобрело более массовый характер. К исследованию вод источников приступило множество организаций, партий и отрядов, такие как геологические партии Министерства геологии СССР, отряды Академии наук СССР, гидрогеологические отряды Института земной коры Сибирского отделения Академии наук СССР и организации Министерства здравоохранения СССР. В группу исследователей организаций Министерства здравоохранения СССР входили - Лепешков И.Н. (1954 г.), Ткачук В. Г. (1955 г.), Черкашин П.А. (1956 г.), Соловьев В.К.(1959 г.), Гирфанова О.М. (1959 г.), Зуев А.В.(1960 г.), Волкова М.А., Яснитская Н.В.(1963 г.), Барабанов Л.Н. и Сидоров В.Е. (1967 г.).

Под руководством и непосредственным участием В.Г. Ткачук в 1955 году проводились экспедиционные исследования на территории Восточного Саяна, которые охватывали большой спектр работ: региональную гидрогеологическую и инженерно-геологическую съемку, обследование минеральных источников, изучение геохимии минеральных вод и гидрогеологических условий месторождений полезных ископаемых. Все собранные материалы и результаты исследований опубликованы в сборнике [15].

Особенно ценными были работы комплексной экспедиции конторы «Союзгеокаптажминвод» (1949 - 1957), выявившей ряд минеральных источников и озер. Результаты исследований нашли отражение в работе К.Ф. Богородицкого и В.И. Валединского [16].

В 1960 году А. О. Блюменфельд издаёт научно-популярный очерк о курортных ресурсах Республики Тывы [17]. Его брошюра была издана дважды но, к сожалению, оказалась недоступна массовому читателю.

В 1966-1967 гг. с целью составления карты минеральных вод в Тыве проводил исследования Гидрогеологический отряд Института земной коры Сибирского отделения Академии наук СССР (Е. В. Пиннекер, Ю. И. Кустов, Л. В. Зобнина, В. Я. Огородова, Г. А. Сироткин). Сотрудниками отряда провели повторное опробование почти всех ранее известных минеральных источников и озер. В процессе исследований было выявлено или впервые описано много новых источников с термальными, углекислыми и радоновыми водами.

Широчайшее исследование вод источников Тывы провёл Евгений Викторович Пиннекер, отражённые в книге под названием «Минеральные воды Тывы» [18]. В ней описаны результаты изучения вод Тывы, рассказывается о гидроминеральных ресурсах, местах нахождения источников и перспективах использования вод. Приводится их гидрогеологическая, химическая и бальнеологическая характеристика. Описание иллюстрируется картой минеральных вод и схемами расположения источников. Это издание до сих пор является настольной литературой для современных учёных.

Уже позднее, с конца 80-х годов комплексные исследования гидроминеральных ресурсов проводили учёные Тывы К. Д. Аракчаа и К.С. Кужугет совместно с коллегами из Иркутского госуниверситета (Г.М. Шпейзером и др. 1989 – 1991) и Томского политехнического университета (М.Б.Букаты и др. 1992 – 1995). Исследования охватили практически всю территорию республики. Были проведены гидрохимические, геофизические, микробиологические, экологические, радоно- и гелиометрические исследования. Всего изучено более 70 минеральных и пресных родников по 50 разным показателям [19].

С 2011 года и по настоящее время на территории Республики Тыва проводятся комплексные естественнонаучные (гидрогеохимические, гидро- и микробиологические, геофизические, микроклиматические, экологические и т.д.) и медико-биологические (медико-социологические и медико-клинические) исследования подземных вод под руководством Аракчаа К. Д с участием Кужугет К. С., Рычковой К. М. и др. при активном участии сотрудников проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии НОЦ «Вода» Томского политехнического университета (Копылова Ю.Г., Хвощевская А. А., Гусева Н. В. и др.) и Томского НИИ курортологии и физиотерапии ФМБА России (Смирнова И. Н. и др.). Данные исследования проводятся с целью уточнения ранее полученных данных, а также для изучения современного состояния и особенностей химического состава вод и их бальнеологических свойств, с привлечением высокочувствительных методов анализа вод. Полученные данные послужат большим вкладом в развитие курортного и рекреационного потенциала республики Тыва, а также ее социально-экономическому развитию.

3 Методы и методика изучения химического состава вод

Исследования по изучению химического состава подземных вод Тывы включают несколько этапов: полевые, лабораторные и камеральные.

В состав полевых работ входит отбора водных проб из родников, полевого химического анализа этих вод, подготовки (консервации, этикетирования, упаковки и т.д.) проб воды, предназначенных для отправки в стационарные лаборатории.

Полевые работы состоят из нескольких периодов.

Подготовительный период. В этот период изучена карта Республики Тыва и проведено ознакомление с территорией, на которой пройдут детальные наблюдения за выходами подземных вод. Намечены пункты отбора проб воды и их количество. Исходя из этого, подготовлены запасы реактивов и посуды.

Организация полевой лаборатории. Эта часть подготовительных работ является одной из важнейших. В данный период подготавливалась полевая лаборатория на базе стационарной лаборатории. Цель подготовки – работа в автономном режиме в течение всего полевого сезона. Подготовлен запас реактивов и посуды для обеспечения опробования проектного количества точек. Все реактивы и материалы упакованы в соответствии с требованиями безопасного ведения работ и так, чтобы требовалось минимальное время и место для разворачивания лаборатории.

В стационарной химической лаборатории, исходя из общего количества точек опробования и комплекса работ на месте отбора пробы, приготовлено необходимое количество реактивов, лабораторной посуды и материалов с запасом 50%, канцелярские принадлежности, в том числе маркеры по стеклу, полиэтилену и произведена упаковка полностью готового комплекта на весь полевой сезон.

Производство работ. На данном этапе выполнены основные технологические операции полевых гидрогеохимических работ согласно требований [20] – проведение маршрутов, отбор и консервация проб для лабораторных исследований, полевой химический анализ вод, описание водопункта и первичная камеральная обработка данных, включающая перенос первичной информации из полевых дневников в сводную базу данных на бумажный и электронный носители. Часть отобранных проб упаковывалась и передавалась на лабораторные исследования в ПНИЛ гидрогеохимии ТПУ для сокращения времени хранения проб и сохранности их первичного состава.

Полевые работы также предусматривают ежедневную подготовку к маршруту полевой лаборатории и включают:

- пополнение запаса реактивов для полевого химического анализа воды на месте пробоотбора;
- подготовка ёмкостей для отбора водных проб и реактивов для их консервации.

3.1 Гидрогеохимическое опробование

Гидрогеохимическое опробование включает в себя: получение координат точки опробования

На точке отбора проб производились следующие работы:

1. Измерение с помощью GPS-навигатора широты, долготы и высоты над уровнем моря.
2. Развёртывание полевой лаборатории и подготовка посуды для отбора проб.
3. Описание места отбора проб, измерение дебета источника, определение физических параметров вод (pH, Eh, удельная электропроводность, температура) и быстроменяющихся компонентов гидрокарбонат – ион, карбонат-ион, уголекислота свободная.
4. Отбор проб воды на различные компоненты ($C_{орг}$, Hg, $CO_{2св}$, H_2S , макрокомпоненты - HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , микрокомпоненты) и микробиологический состав.

По окончании маршрута производилась камеральная обработка данных, упаковка проб для отправки в лабораторию.

Фрагмент полевых работ в части подготовки к их выполнению представлен на рисунке 10.



Рисунок 10- Подготовка к отбору проб (Фото Горбуновой А. А.)

3.2 Отбор проб

Отбор проб воды производился, как правило, у места выхода родника на земную поверхность и в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51593-2000 «Вода питьевая. Отбор проб» [21] в специально подготовленные емкости из стекла или пластика для их временного хранения. С целью сохранения первоначального содержания компонентов в исследуемой воде в ёмкость добавляли консервант, согласно требований нормативного документа по определению конкретного компонента вод. Информация о виде тары для отбора проб и консерванте приведена в таблице 8. При отборе пробы на общий химический анализ и определение макрокомпонентного состава вод, который не требует консервации, ёмкость перед отбором трижды ополаскивалась исследуемой водой.

Таблица 8- Условия консервации вод для проведения лабораторных исследований

№	Определяемый компонент	Объём пробы, мл	Тип материала посуды	Консервант
1	C _{орг}	50	стеклянная	0,1 мл конц. H ₂ SO ₄
2	Hg	50	стеклянная	1 мл конц. HNO ₃
3	Микрокомпоненты (Zn, Cd, Pb, Cu и др.)	200	стеклянная	1 мл конц. HNO ₃
4	H ₂ S	200	стеклянная	5 мл КОН
5	Элементный состав вод (маспектрометрия)	50	пластиковая	Без консервации
6	CO _{2св}	45	пластиковая	9 мл NaOH
7	Макрокомпоненты (HCO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺)	1500	пластиковая	без консервации

Для анализа воды по микробиологическому составу пробы отбирались в стерильные стеклянные ёмкости объемом 200 мл.

3.3 Полевые измерения физических параметров вод и быстроменяющихся компонентов

При исследовании подземных вод родников в полевых условиях проводилось определение их физических параметров: pH, электропроводность, окислительно-восстановительный потенциал. Исследования проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 24902-81 «Вода хозяйственно-питьевого назначения. Общие требования к полевым методам анализа» [22]. Измерение физических параметров вод проводилось переносным полевым прибором Water Test (Рисунок 11). Для проведения измерений исследуемая вода заливается в съемную кювету, выбирается необходимый параметр, а результат измерения снимается с экрана дисплея. Основные характеристики прибора приведены в таблице 9.

Таблица 9-Технические данные и характеристики анализатора Water Test

Параметр	Диапазон измерения	Точность
pH, ед pH	0.0 – 14.0	$\pm 0,2$ ед. pH
Температура, °C	0.0 – 60.0	$\pm 1^{\circ}\text{C}$
Проводимость, $\mu\text{S}/\text{cm}$	0-1999	$\pm 2\%$
Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), мВ	± 1000	± 5 мВ



Рисунок 11-Анализатор Water Test

Наряду с физическими параметрами на месте отбора проб проводили определение быстро меняющихся компонентов гидрокарбонат иона и

свободной угольной кислоты. Определение проводилось методом титриметрии.

1. Определение гидрокарбонат- иона

В колбу для титрования вносилось 50 мл воды, добавлялось 2-3 капли индикатора метилового оранжевого и затем проводили титрование вод 0,1 н раствором HCl до перехода окраски от желтого до розового цвета. Одновременно использовали пробу свидетель.

2. Определение $CO_{2\text{св}}$

В колбу для титрования вносилось 50 мл воды, добавлялось 2-3 капли индикатора фенолфталеина и затем проводили титрование вод 0,1 н раствором NaOH до перехода окраски от бесцветной до розовой. Одновременно использовали пробу свидетель.

Результаты измерений заносились в полевой дневник.

Одновременно, велись наблюдения за содержанием радона в исследуемых водах и оценка радиационной обстановки, которая проводилась руководителем экспедиции Аракчаа Кара-кыс Донгаковны. Измерения радона проводились с помощью дозиметра-радиометра МКС 01СА1М.

3.4 Камеральные работы

При проведении полевых работ проведено описание исследуемых родников, измерение физических параметров вод, определение быстроменяющихся компонентов и измерение дебета родника. Наряду с этим проведена камеральная обработка полученных данных. Первичная информация о месте расположения родников, их координаты, результаты полевого химического анализа исследуемых вод отраженная в полевых дневниках перенесена в общую информационную базу на бумажный и электронный носитель. Часть этой информации представлена в таблице 10.

Таблица 10-Характеристика места отбора проб подземных вод и их физические и химические свойства

Дата отбора	Название родника	Координаты места отбора пробы			Показатели состава воды					
		широта	долгота	высота, м над уровнем моря	T, °C	pH, ед. pH	Электропроводность, μS	Eh, мВ	HCO ₃ ⁻ , мг/л	CO ₂ ^{св} , мг/л
26 июл	Сенек (нижний)	-	-	-	15,1	9	1605	-37	66	8,8
26 июл	Сенек (верхний, выход 2)	-	-	-	9,9	9,5	350	115	255,2	8,8
26 июл	Сенек (верхний, выход 4)	-	-	-	8,9	9,6	293	123	255,2	13,2
28 июл	Утуг–Дуруг	51°45'27.22"	092°11'47.30"	564,6	10,8	7,1	-	347	404,8	0
29июл	Дыттыг - Доргун	-	-	-	-	-	-	-	294,8	13,2
31 июл	Хурегечи, нижн.	51°00'34.25"	093°11'38.29"	1249,5	7	7,6	>1000	117	246,4	13,2
31 июл	Хурегечи, верхн.	51°00'35.26"	093°12'5.18"	1345,9	4,5	7,4	>1000	94	233,2	13,2
03 авг	Ала Тайга	50°08'44.55"	089°41'12.25"	2362,5	12,1	8,2	573	165	96,8	57,2
04 авг	Аспаты	49°57'19.74"	089°44'11.44"	1204,1	7,2	8,5	145	164	48,4	4,4
05 авг	Адарган	50°31'20.52"	091°02'19.39"	806,4	5,8	7,9	430	180	114,4	8,8
05 авг	Ак-Холь	50°23'55.67"	090°15'48.98"	1296,2	11,3	7,5	567	124	220	13,2
06 авг	Коош-Терек	50°43'11.91"	092°37'5.78"	1036	17,6	7,5	1945	78	171,6	17,6
07 авг	Улаатай(горный)	50°52'40.74"	092°14'44.11"	1717	13,9	7,8	1615	146	928,4	57,2
08 авг	Улаатай(речной)	50°52'43.39"	092°15'25.27"	1544	5,4	7,7	1135	124	853,6	88
08 авг	Талдыг-Чарык	50°47'50.53"	091°57'43.75"	1462,1	12,3	7,9	420	129	184,8	17,6
09 авг	Хаттыг - Чазы	51°25'32.32"	091°00'29.15"	924,3	10,4	7,7	340	138	233,2	8,8
09 авг	Устуу - Доргун	51°28'21.71"	091°13'39.88"	1089,8	9,2	7,8	276	126	83,6	8,8
10 авг	Шивилиг (верхний)	50°59'53.43"	089°54'18.79"	1738,6	13,6	8,3	297	149	26,4	4,4
12 авг	Бел	51°08'58.25"	090°06'19.70"	1323,4	8,1	7,9	172	143	105,6	13,2
12 авг	Терек - Доргун	-	-	-	11,1	8,3	179	140	0	0
12 авг	Суглуг - Ой	51°09'5.19"	090°43'53.59"	999,8	22,4	8,2	536	170	206,8	0
14 авг	Час - Адыр(основной)	50°43'13.96"	090°36'33.10"	983,1	16,4	8,2	333	216	220	17,6
14 авг	Час –Адыр(горячий)	-	-	-	11	8	315	148	0	0
14 авг	ЧолдакЧыраа-Булак	-	-	-	-	-	-	0	0	0
15 авг	Талдыг - Ой	51°31'18.01"	090°11'46.27"	1410,3	7,9	8,1	279	154	0	0
15 авг	Алаш (Алашский)	51°19'41.38"	090°41'47.18"	915,8	11	7,6	230	180	277,2	26,4

3.5 Методы лабораторного анализа

Количественный химический анализ вод родников был выполнен в аккредитованной проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии (ПНИЛ гидрогеохимии) НОЦ «Вода» ИПР Томского Политехнического университета сотрудниками Шушариной В.А., Камбалиной М.Г., Шердаковой Н.И., Верколаб Л. Ю. Для определения состава вод использовались различные химические и физикохимические методы. Определение компонентов проводилось в соответствии с требованиями нормативных документов на методику выполнения измерения каждого показателя. Перечень методик и применяемый метод определения компонентов вод представлены в таблице 11.

Для определения компонентов карбонатной системы (гидрокарбонат- и карбонат-ионы, свободная уголекислота), кальция, хлорид -иона и величины общей жесткости использовался метод титриметрии (Тр). Колориметрический метод (ФК) использовался для компонентов образующих со специфическими реагентами окрашенные комплексы, к которым относятся соединения группы азота, железо общее и кремний. Измерение оптической плотности окрашенных комплексов этих компонентов проводилось на спектрофотометре UNICO 2100. Методом потенциометрии (П) проводилось определение pH, фторид - и нитрат-ионов на иономере «Анион 7051» с использованием ионселективных электродов. На ряду с этими методами применялся метод ионной хроматографии (ИХ) с использованием которого проводилось одновременное определение 6 катионов (кальций, магний, натрий, калий, литий, стронций) и 6 анионов (хлор, фтор, бром, нитрит - нитрат и фосфат ионы). Микрокомпонентный состав подземных вод определялся методами инверсионной вольтамперометрии (ИВА) на анализаторе ТА-4 и атомно-адсорбционной спектроскопии (ААС) на спектрофотометре МГА-915. Определение общего органического углерода ($C_{орг}$) проводилось методом высокотемпературного каталитического окисления на анализаторе VarіТОС. Микробиологический состав вод определялся методами классической микробиологии. Данные по $C_{орг}$ и микробиологическому составу вод в работе не приводятся. Определение

всех компонентов вод проводилось по методикам, включенным в Федеральный информационный фонд РФ по нормативной документации.

Таблица 11- Определяемые физико-химические и гидрохимические показатели природных вод

Показатель	Метод анализа	Нормативный документ
pH	ПТ	ПНД Ф 14.1:2.3:4.121-97
SO ₄ ²⁻	ТБ	ПНД Ф 14.1:2.159-2000
Cl ⁻	ТР	ПНД Ф 14.1:2.96-97
NO ₃ ⁻	П	ПНД Ф 14.1: 2.4-95 (2004);
Минерализация	Расчет	–
Жесткость общая	ТР	ПНД Ф 14.1:2.98-97; РД 52.24.395-95
Ca ²⁺	ТР	ПНД Ф 14.1:2.95-97; ГОСТ 23268.5-78
Mg ²⁺	ИХ	МУ 08-47/334
Na ⁺	ИХ	МУ 08-47/334
K ⁺	ИХ	МУ 08-47/334
HCO ₃ ⁻	ТР	ПНД Ф 14.2.99-97;ГОСТ 23268.3-78
Fe	ФМ	ПНД Ф 14.1: 2.50-96;ГОСТ 23268.-78
Zn	ИВА	ФР 1.31.2004.00987
Cu	ИВА	ФР 1.31.2004.00987
Pb	ИВА	ФР 1.31.2004.00987
Si	ФМ	РД 52.24.433-05; ПНД Ф 14.1:2.215-06
Sr	ПЭС	ПНД Ф 14.1:2.4.138-98
Cd	ИВА	ФР 1.31.2004.00987
Mn	ИВА	ФР 1.31.2004.01322
As	ИВА	ФР 1.31.2004.01324
Al	ААС	ГОСТ 18165-89
Температура воды	Термометрия	РД 52.24.496-05
Вкус	Органолептический	ГОСТ 3351-74
Запах	Органолептический	РД 52.24.496-2005; ГОСТ 3351-74
Цветность	ФМ	РД 52.24.497-95; ПНД Ф 14.1:2.4.207-98
Удельная электрическая проводимость	Кондуктометрия	РД 52.24.495-05
Мутность	ФМ	ПНД Ф 14.1:2.4.213-05
F ⁻	П	ФР.1.31.2005.01522
Li	ИХ	МУ 08-47/334
W	ААС	ПНД Ф 14.1:2.253-09
Bi		
Sn		
Ba		
Co		
Cr		
Ni		
V		
Ti		
Be		
Se		
Mo		
Sb		
Te		
B	П	НСАМ №280-Г
Ag	ИВА	ФР. 1.31.2006.02430

4 Характеристика родников

На территории Центральной и Западной Тывы проведены исследования и изучен состав подземных вод 26 родников. Схема расположения родников представлена на рисунке 12. Территориально выходы подземных вод родников приурочены к долинам различных рек (Улуг-Терегитг, Элегест, Хемчик, Устю-Пахаш и другие).

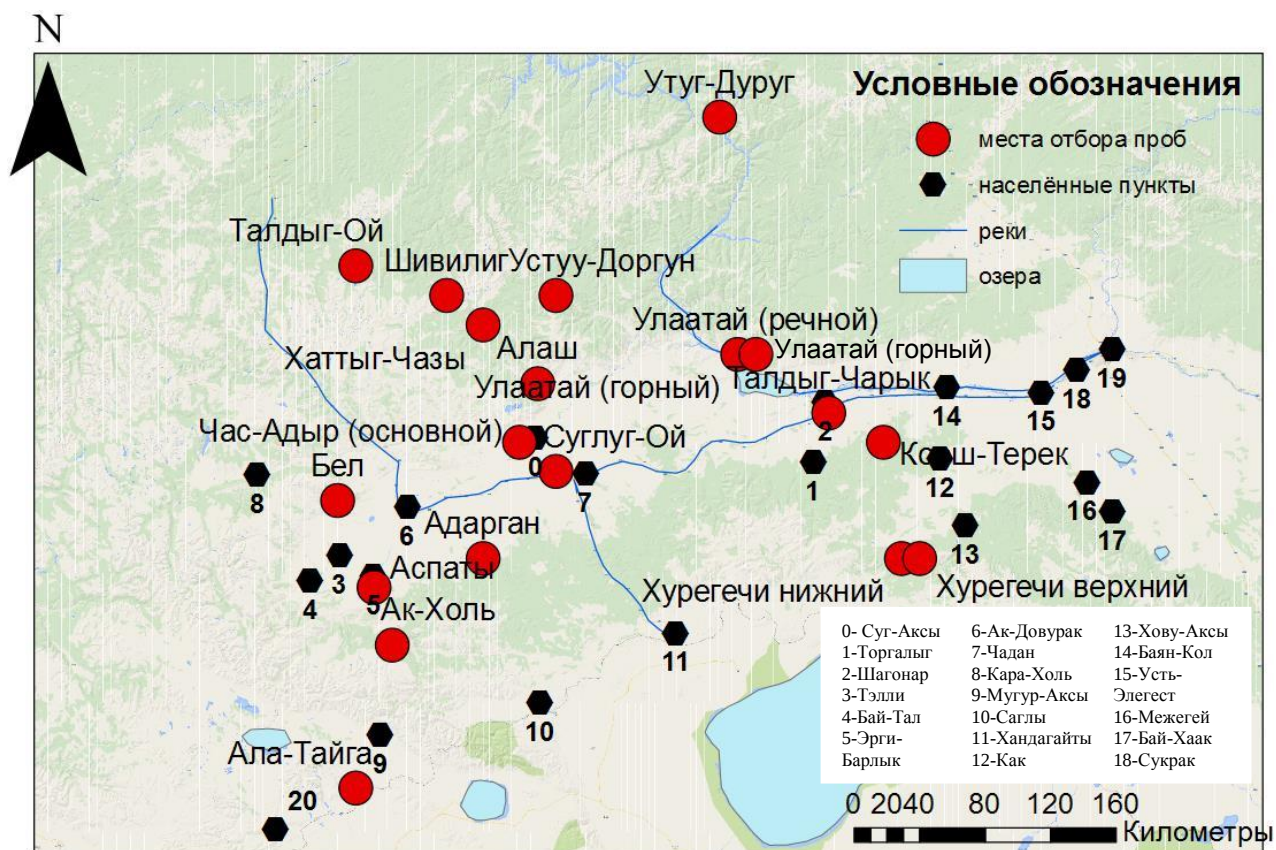


Рисунок 12-Схема расположения родников

Родник Сенек расположен примерно в 6 км от автодороги Кызыл-Шагонар в горной местности, южнее посёлка Хайыракан [23]. Родник делится на несколько рукавов и имеет три выхода. Два из них разгружаются у подножия горы и представляют собой естественные выходы, каптированные деревянными желобами. На месте третьего выхода источника имеется скважина, каптированная железной трубой (Рисунок 13). Растительность на территории родника высокорослая. Воды приятные на вкус, не имеют цвета и запаха.



Рисунок 13 - Родник Сенек нижний (Фото Горбуновой А. А)

Родник Уттуг–Дуруг (Рисунок 14) расположен на берегу реки Енисей, в горной местности, на расстоянии около 1-1,5 км от родника Ажыг-Суг. Вода имеет благоприятные органолептические свойства: без запаха, без вкуса, без цвета, прозрачная. Родник каптирован деревянными желобами. Растительность представлена мелкой травой.



Рисунок 14-Родник Уттуг–Дуруг (глазной). (Фото автора)

Родник Дыттыг – Доргун расположен в Бай-Тайгинском районе, в 3 км к юго-западу от родника Уттуг-Дуруг. Растительность в области разгрузки вод

родника низкорослая, изредка встречаются хвойные деревья. Выход источника каптирован деревянным желобом.

Родник Хурегечи находится на правом берегу реки Элегест, на расстоянии около 14 км от села Хольчук [23] и имеет 10 выходов. Территория родников покрыта средне- и высокорослой таёжной растительностью (Рисунок 15). Все имеющиеся выходы источников каптированы деревянными лотками. Вода прозрачна, не имеет запаха и приятна на вкус.



Рисунок 15- Родник Хурегечи нижний (фото слева) и верхний (фото справа)

Родник Ала Тайга (Рисунок 16) расположен в Монгун-Тайгинском районе, примерно в 25 км к северо - западу от посёлка Кызыл - Хая, в 3 км от реки Устю-Ыйматы [24]. Высота места водоявления родника- 2362,5 м над уровнем моря. Расположен родник в горной местности и выходит из подножья высоких скал, содержащих кварц, горный хрусталь и белый мрамор. Родник делится на несколько рукавов и имеет пять выходов. Вода имеет благоприятные органолептические свойства, она без запаха и вкуса, прозрачна и без цвета. Место выхода родника, площадью примерно 20-30 м², покрыто травянистой растительностью [24]. Родник каптирован деревянными желобами.

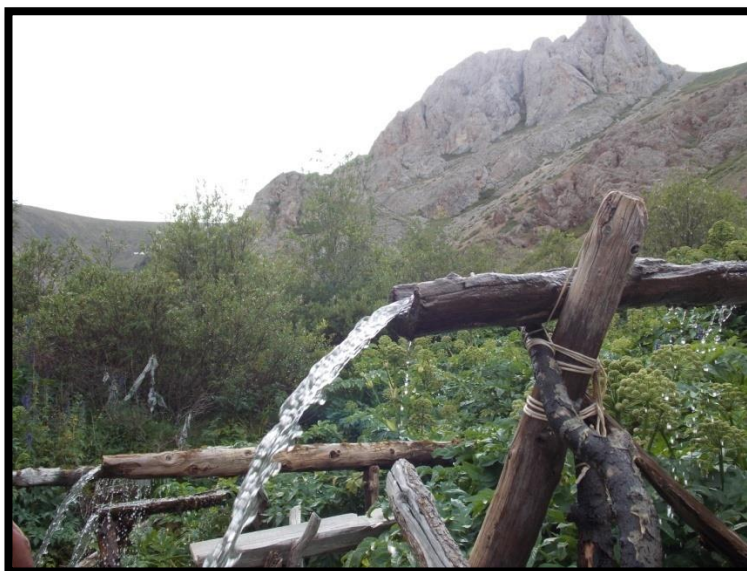


Рисунок 16 - Родник Ала Тайга (Фото автора)

Родник Аспаты расположен у подножия горы Малый Монгулек в Монгун-Тайгиском районе, примерно в 23 км к северо-западу от посёлка Кызыл-Хая (Рисунок 17). Воды родника имеют несколько выходов, которые каптированы деревянными желобами. Растительность на прилегающей к роднику территории низкорослая и лишь изредка можно встретить хвойные деревья. Воды родника без цвета, запаха и приятны на вкус.



Рисунок 17- Родник Аспаты (Фото автора)

Родник Адарган (Рисунок 18) находится на склоне горы, примерно в 2,5 км от реки Устю-Пахаш [23] и каптирован деревянными желобами. Воды источника не имеют запаха и вкуса, прозрачная, без цвета. Растительность на прилегающей к роднику территории представлена низкорослыми травами.



Рисунок 18-Родник Адарган (Фото автора)

Родник Ак-холь располагается в Турано - Уюкской котловине на расстоянии 12 км к юго-западу от центра Пий - Хемского района города Турана [23]. Источник находится с западной стороны озера Ак - холь. Растительность преимущественно низкорослая. Воды имеют благоприятные органолептические свойства, они не имеют запаха и вкуса, прозрачны и бесцветны.

Родник Коош-Терек (Рисунок 19) расположен в 3 км от реки Айлыг - Бай. Растительность в области расположения родника средняя. У воды отмечается слабый запах сероводорода, при этом она прозрачная и без цвета. На дне родника имеется чёрная илистая грязь, пахнущая сероводородом.



Рисунок 19-Родник Коош-Терек (Фото автора)

Родник Улаатай (горный) (Рисунок 20) расположен в 21 км северо-восточнее районного центра Хандагайты, каптированный деревянными

желобами. Вода имеет благоприятные органолептические свойства: без запаха, без вкуса, прозрачная, без цвета. Растительность среднего уровня.



Рисунок 20-Родник Улаатай (горный) (Фото автора)

Родник Улаатай (речной) (Рисунок 21) расположен в 20 км северо-восточнее районного центра Хандагайты, на правом склоне небольшого распадка, впадающего справа в реку Улаатай [19]. Вода без запаха, без вкуса, прозрачная, без цвета. Растительность представлена мелкой травой. Родник каптирован деревянными желобами.



Рисунок 21-Родник Улаатай (речной). (Фото автора)

Родник Талдыг-Чарык находится в Овюрском районе в 10-15 км к северо-западу от Хандагайты и приурочен к реке Кара-Суг-Бажи [18]. Родник

каптирован деревянными желобами. Вода имеет благоприятный вкус, прозрачная и без запаха.

Родник Хаттыг–Чазы (Рисунок 22) расположен в Сут-Хольском районе, в 200 км к северо-востоку от родника Шивилиг. Растительность представлена высокой травой. Вода имеет благоприятные органолептические свойства: без запаха, без вкуса, прозрачная. Родник каптирован деревянными желобами.



Рисунок 23-Родник Хаттыг – Чазы. (Фото автора)

Родник Устуу–Доргун (Рисунок 24) находится в 10 км от районного центра Суг-Аксы. Растительность в области выхода родника мелкорослая. Вода родника без запаха и вкуса, прозрачная, без цвета. Родник каптирован деревянными желобами.



Рисунок 24-Родник Устуу–Доргун (Фото автора)

Родник Шивилиг (Рисунок 25). Расположен в Бай-Тайгинском районе на склоне хребта в 20-25 км от сёл Кызыл-Даг и Бай-Тал, в 5 км от реки Улуг-Аруг. Растительность: высокая трава, хвойный лес. Вода имеет благоприятные органолептические свойства: без запаха, без вкуса, прозрачная, без цвета. Родник каптирован деревянными желобами.

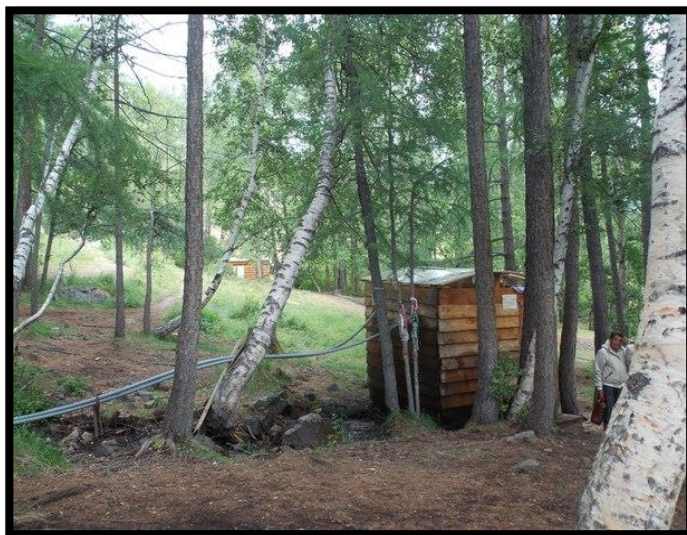


Рисунок 25-Родник Шивилиг (Фото автора)

Родник Бел расположен в Бай-Тайгинском районе, в 12 км к югу от посёлка Кызыл-Даг, на абсолютной отметке 1323 м над уровнем моря. Ландшафт представляет собой холмистую местность со степной растительностью. Родник имеет два выхода с достаточно высоким дебитом. На рисунке 26 изображен основной выход подземных вод этого родника. Воды прозрачны, без цвета и запаха.



Рисунок 26- Родник Бел (Фото автора)

Родник Терек-Доргун расположен в 1 км к западу от родника Бел (Рисунок 27). Родник имеет шесть выходов, которые каптированы деревянными желобами. Дебит родника достаточно высок. Растительность у выхода родника низкорослая. Воды без цвета, запаха и приятны на вкус.



Рисунок 27-Родник Терек-Доргун (Фото автора)

Родник Суглуг-Ой расположен в Сут-Хольском районе. Выходит подземных вод на поверхность происходит в небольшой межгорной расщелине из песчано-гравийных отложений. Источник каптирован металлической трубой (Рисунок 28). Его характерной особенностью является очень низкий дебит. Воды без цвета, запаха и приятны на вкус.



Рисунок 29- Родник Суглуг-Ой (Фото автора)

Родник Час – Адыр (основной) (Рисунок 30) расположен в гористой местности. Его выход каптирован деревянными желобами. Растительность вокруг родника средняя, преобладают хвойные деревья. Вода имеет благоприятные органолептические свойства, она прозрачная, без запаха и вкуса.



Рисунок 30-Родник Час - Адыр (основной). (Фото автора)

Родник Час - Адыр («горячий») (Рисунок 31) находится примерно в 1-2 км от источника Час - Адыр (основной), на берегу реки Улуг-Терегтиг. Расположен родник среди скал, поросших редким кустарником. Вода имеет благоприятные органолептические свойства: без запаха, вкуса и цвета. Родник каптирован деревянным желобам.



Рисунок 32-Родник Час - Адыр («горячий») (Фото Горбуновой А. А.)

Родник Чолдак Чыраа-Булак располагается примерно в 3-4 км от села Эрги-Барлык, северо-западнее родника Бел. Растительность на территории родника среднего уровня. Воды без запаха, цвета, прозрачны и приятны на вкус.

Родник Талдыг – Ой (Рисунок 33) находится в долине реки Алаш. Растительность: низкорослая трава, хвойные деревья. Гористая местность. Вода имеет благоприятные органолептические свойства: без запаха, без вкуса, прозрачная. Родник каптирован деревянными желобами.



Рисунок 34-Родник Талдыг – Ой. (Фото автора)

Родник Алаш (Алашский) (Рисунок 35) находится примерно в 3 км от реки Эдегей, в ущелье. Растительность на территории выхода родника разнообразная в виде деревьев и кустарников. Родник каптирован деревянными желобами. Вода без запаха и без вкуса, прозрачная, без цвета.



Рисунок 36-Родник Алаш (Фото автора)

5 Характеристика химического состава подземных вод Центральной и Западной Тывы

В основу главы положены результаты лабораторных и полевых исследований химического состава и физических свойств вод 26 родников Центральной и Западной Тывы.

5.1. Физические свойства родников

Определение физических параметров вод родников проводилось в полевых условиях. Результаты наблюдений представлены в таблице 11. Из полученных данных следует, что по температуре воды, колеблющейся в пределах 4,5-17,6°C, воды родников являются холодными. Исключение составил родник Суглуг-Ой, воды которого являются тёплыми, при температуре 22,4 °C.

Окислительно-восстановительный потенциал исследуемых вод колеблется от -37 до 347мВ отвечающей окислительной обстановке

Величина электропроводности исследуемых вод колеблется в пределах от 145μS до 1945 μS. Полученные данные свидетельствуют о том, что подземные воды родников имеют большой размах по величине минерализации, т.е. указывают на наличие на исследуемой территории пресных и солоноватых вод.

5.2 Химический состав родников

Важной характеристикой состояния подземных вод являются их кислотно-щелочные условия, определяемые величиной водородного показателя pH. По кислотно-основным свойствам подземные воды родников имеют преимущественно нейтральный характер среды. К этому типу вод относится подавляющая часть источников, pH которых колеблется от 6,5 до 7,5 ед. pH. Слабощелочной характер среды наблюдается у вод источников Талдыг-Ой, Суглуг-Ой и Час-Адыр (основной), с величиной pH 7,6 и 7,7 ед. pH. Кроме того, на исследуемой территории выявлены слабокислые воды с показателем pH от

6,1 до 6,4 ед. рН. К ним относятся источники Ала-Тайга, Терек-Доргун и Хурегечи (верхний).

По результатам лабораторных исследований, представленных в таблице 13, подземные воды родников имеют разнообразный состав и минерализацию. Минерализация вод родников Центральной и Западной Тывы изменяется в широких пределах от 0,04 до 3,6 г/л

Среди исследуемых родников по величине минерализации вод можно выделить следующие их типы:

- Пресные воды (М от $<0,2$ до 0,7 г/л)- к водам этой группы относятся родники Шивилиг, Аспаты, Устуун-Доргун, Ала Тайга, Бел, Терек-Доргун, Талдыг-Ой, Час-Адыр (основной и горячий), Алаш, Талдык-Чарык, Чолдак Чыраа-Булак, Сулуг-Ой, Хатыг-Чазы, Адарган, Дыттыг-Дергун, Ак-Холь, Сенек верхний (выходы 4 и 2);
- Солоноватые (М от 1,4 до 3,6 г/л)- к водам этой группы относятся родники Утуг-Дуруг, Улаатай (горный и речной), Коош-Терек, Сенек (нижний) Хурегечи (верхний и нижний).

По величине общей жесткости воды родников Центральной и Западной Тывы имеют разнообразный характер при колебании этого показателя от 1,5 до 31 °Ж. К очень мягким водам с величиной общей жёсткости до 1,5°Ж относятся воды источников Шивилиг и Устуу-Доргун. К мягким водам относятся воды родников Аспаты, Ала-Тайга, Бел, Терек-Доргун и Ак-холь с величиной общей жёсткости от 1,7 до 2,9 °Ж. Умеренно-жёсткими являются воды родников Талдыг - Ой, Час - Адыр (основной и горячий), Алаш, Талдыг - Чарык, Чолдак Чыраа - Булак, Суглуг - Ой, Хаттыг - Чазы с величиной общей жёсткости от 3,4 до 5,6 °Ж. Воды родников Сенек (нижний), Коош - Терек, Сенек (верхний, выход 2 и 4), Адарган, Дыттыг - Дергун относятся к жёстким водам (ОЖ от 6,1 до 10,8 °Ж). Воды родников Уттуг - Дуруг, Улаатай (горный и речной), Хурегечи (нижний и верхний) относятся к очень жёстким водам, где величина общей жёсткости колеблется в пределах от 18,1 до 31°Ж. Таким образом, из

выше сказанного следует, что водам родников Центральной и Западной Тывы присущ очень мягкий, мягкий, умеренно-жесткий и очень жесткие типы.

5.2.1 Характеристика макрокомпонентного состава родников

В ионном составе подземных вод родников Центральной и Западной Тывы отмечается однотипность (Таблица 12). Преобладающим анионом в этих водах является гидрокарбонат-ион, содержание которого варьирует от 30 до 1161 мг/л. Концентрация сульфат-иона в исследуемых водах колеблется в широких пределах от 1,12 мг/л в водах родника Шивилиг до 1224,0 мг/л в роднике Сенек (нижний). Значительный размах значений концентраций характерен и для хлорид-иона, содержание которого колеблется от 0,89 мг/л в водах родника Шивилиг до 1526,5 мг/л в водах родника Коош-Терек. В анионном составе исследуемых вод некоторых родников отмечается высокий уровень содержания нитрат-иона, достигающий значений 17, 18, 27 и 35 мг/л в водах родников Уттуг-Дуруг, Алаш, Хаттыг-Чазы, Суглуг-Ой соответственно. Содержание нитрат-иона в водах большинства родников колеблется в пределах от 0,42 до 4,18 мг/л, либо отсутствует.

Среди катионов, преобладающим является ион кальция. Его содержание в исследуемых водах колеблется в пределах от 5 мг/л, в водах родника Шивилиг до 520 мг/л в водах родника Хурегечи (нижний). Уровень магния в этих водах варьирует в широких пределах от 1,2 до 256,0 мг/л, как и содержание натрия, размах значений которого колеблется в пределах от 0,94 до 995,00 мг/л. Наименьшее содержание среди катионов в исследуемых водах, как видно из таблицы 13, характерно для калия, концентрация которого находится в пределах от 0,36 до 17,90 мг/л.

Таблица 12-Содержание макрокомпонентов в родниках Центральной и Западной Тывы

Название источника	рН, ед. рН	Мин, мг/л	Содержание макрокомпонентов, мг/л								ОЖ*, °Ж
			HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	
Шивилиг	6,5	45	30	1,12	0,8	1,31	5	1,2	4,65	0,36	0,4
Аспаты	7,1	131	69	25,4	2,1	2,69	23,5	5,8	1,45	0,99	1,7
Устуун-Доргун	7,0	142	98	2,4	3,5	3,55	19	6,1	9,5	0,65	1,5
Ала Тайга	6,2	153	98	15,7	2,2	0,98	30	5,0	0,94	0,41	1,9
Бел	6,9	199	122	14,6	11,2	0,97	35	7,3	7,30	0,58	2,4
Терек-Доргун	6,1	227	158	16,5	3,0	0	28	17,4	3,85	0,48	2,8
Талдыг-Ой	7,7	285	189	21,9	1,3	3,81	48	11,6	8,30	0,84	3,4
Час-Адыр (основной)	7,6	333	238	6,3	6,63	2,33	68	8,5	2,59	0,87	4,1
Алаш	6,7	342	232	13,2	3,4	18,09	38	26,8	9,20	1,00	4,1
Талдык-Чарык	7,5	401	220	65,2	2,24	4,18	70	12,2	25,85	1,42	4,5
Час-Адыр (горячий)	6,6	422	232	17,7	53,2	2,87	72	7,3	34,30	2,46	4,2
ЧолдакЧыраа-Булак	7,3	440	293	37,2	2,4	6,59	58	25,6	16,70	0,74	5,0
Сулуг-Ой	7,7	452	244	53,2	7,2	34,7	76,5	12,5	23,50	0,75	4,8
Хатыг-Чазы	6,9	510	285	57,6	24,8	26,93	36	46,3	30,20	3,52	5,6
Адарган	7,1	529	151	238,9	1,9	3,11	97	30,5	5,20	1,24	7,4
Дыттыг-Дергун	7,3	530	366	44,4	3,08	1,98	54	48,8	10,20	1,04	6,7
Ак-Холь	7,1	575	293	27,4	88,7	0,95	32	15,8	115,00	2,44	2,9
Сенек, верхний (выход	7,0	715	363	83,5	80	3,52	58	42,7	80,40	4,10	6,4
Сенек, верхний (выход	7,0	741	380	85,5	81,6	3,80	54	48,8	84,80	2,60	6,7
Утуг-Дуруг	7,2	1454	589	499,0	20,4	16,57	95	163,1	66,00	4,70	18,1
Улаатай (горный)	7,3	1962	1161	393,0	11,2	0	120	256,0	9,20	10,86	27,0
Улаатай (речной)	7,1	1979	1038	509,2	17,7	0,42	136	254,0	12,00	11,14	27,6
Сенек (нижний)	7,2	2649	104	1224,0	454,4	0,45	192	14,6	652,50	7,40	10,8
Коош-Терек	6,6	3100	210	234,0	1526,5	1,72	104	10,9	995,00	17,90	6,1
Хурегечи (верхний)	6,4	3500	232	245,0	1775,0	1,27	268	77,5	899,00	2,70	19,8
Хурегечи (нижний)	7,2	3675	266	1171,0	1025,9	1,03	520	61,0	626,00	4,37	31,0

*Общая жёсткость

Анализ данных по химическому составу вод и ведущих ионов показал, что в большинстве случаев преобладающим анионом является гидрокарбонат-ион. Исключения составляют родники Адарган, Утуг-Дуруг, Хурегечи (верхний и нижний), Сенек (нижний), Коош-Терек. В водах родников Уттуг-Дуруг, Адарган и Сенек (нижний) преобладает сульфат-ион, а в водах родников Хурегечи (нижний и верхний), Коош-Терек- хлорид-ион.

Что касается катионного состава можно отметить, что преимущественное положение занимают магний - и кальций – ионы. Отмечено, что преобладание кальций-иона наблюдается только в водах пресных источников. Исключение составили воды родников Терек-Доргун, Алаш, Хатыг-Чазы, Дыттыг-Дергун, Сенек (верхний, выход 2 и 4), где происходит смена кальций-иона, на магний-ион. Единичный случай преобладания натрия - иона наблюдается в водах пресного источника Ак-Холь. Высокий уровень магния выявлен в основном в солоноватых водах источников Улаатай (горный и речной), Утуг-Дуруг. Вместе с тем, отмечается и преобладание ионов натрия в солоноватых водах трёх родников - Коош-Терек, Хурегечи (верхний и нижний), Сенек (нижний).

Характеристика ионного состава подземных вод родников, отражающая их анионный и катионный состав в % эквивалентном количестве, представлена в таблице 13. Как видно из таблицы по мере увеличения степени минерализации вод родников, закономерно изменяется и их ионный состав. Пресные воды являются гидрокарбонатно-кальциевыми (или магниевыми) и их комбинации. В единичном случае при минерализации 45 мг/л место магния в растворе занимает натрий, и воды становятся гидрокарбонатные натриево-кальциевые. При минерализации в пределах от 715 до 741 мг/л отмечается появление кальция - и магний - иона и раствор приобретает гидрокарбонатный кальциево-магниевый (кальциево-натриево-магниевый) состав.

Солоноватый тип вод характеризуется пёстрым ионным составом. Сульфатный тип преобладает в водах с минерализацией свыше 1000 мг/л. Исключением являются воды трёх родников с минерализацией 131, 401 и 529мг/л. Причем в первом и втором случаях сульфат ион в водах уступает

место гидрокарбонат иону при их приблизительном соотношении 1:2. В качестве доминирующих катионов в этих водах выступают магний и кальций. Появление хлоридного типа вод отмечается в шести источниках, два из которых относятся к пресным водам. При этом в пресных водах хлорид-ион уступает место гидрокарбонат - иону. В водах двух источников помимо хлорид-иона присутствует и сульфат-ион, тем самым они становятся хлоридно-сульфатными или сульфатно-хлоридными. В водах с минерализацией 3100 и 3500 мг/л отмечается чисто хлоридный тип вод. В качестве доминирующего катиона в этих водах выступает натрий, в единичном случае наблюдается появление кальция (натриево-кальциевые воды).

Обобщенные данные по химическому составу исследуемых вод родников описаны формулой солевого состава (Формулой Курлова) и представлены в таблице 14.

Таблица 13- Характеристика ионного состава родников Центральной и Западной Тывы

Название источников	Содержание макрокомпонентов, % экв.								Минерализация, мг/л	Тип воды
	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺		
	Пресные воды									
Шивилиг	88	4	4	4	45	18	36	2	45	HCO ₃ Na-Ca
Аспаты	64	30	3	2	68	27	4	1	131	SO ₄ HCO ₃ Mg-Ca
Устуун-Доргун	89	3	5	3	51	27	22	1	142	HCO ₃ Ca-Mg
Ала Тайга	80	16	3	1	76	21	2	1	153	HCO ₃ Ca
Бел	76	12	12	1	65	22	12	1	199	HCO ₃ Ca
Терек-Доргун	86	11	3	0	47	47	6	0	227	HCO ₃ Ca-Mg
Талдыг-Ой	85	12	1	2	64	25	10	1	285	HCO ₃ Mg-Ca
Час-Адыр (основной)	92	3	4	1	80	17	3	1	333	HCO ₃ Ca
Алаш	85	6	2	7	42	49	9	1	342	HCO ₃ Ca-Mg
Талдык-Чарык	71	27	1	1	62	18	20	1	401	SO ₄ HCO ₃ Ca
Час-Адыр (горячий)*	67	6	26	1	63	10	26	1	422	Cl HCO ₃ Ca
ЧолдакЧыраа-Булак	84	13	1	2	50	37	13	0	440	HCO ₃ Mg-Ca
Сулуг-Ой	68	19	3	10	65	17	17	0	452	HCO ₃ Ca
Хатыг-Чазы	67	17	10	6	26	54	19	1	510	HCO ₃ Ca-Mg
Адарган	33	66	1	1	64	33	3	0	529	HCO ₃ SO ₄ Mg-Ca
Дыттыг-Дергун	85	13	1	0	38	56	6	0	530	HCO ₃ Ca-Mg
Ак-Холь	61	7	32	0	20	16	63	1	575	ClHCO ₃ Na
Сенек, верхний (выход 4)	60	17	23	1	29	35	35	1	715	HCO ₃ Ca-Mg-Na
Сенек, верхний (выход 2)	60	17	22	1	26	38	35	1	741	HCO ₃ Ca- Na-Mg
Солоноватые воды										
Утуг-Дуруг	46	50	3	1	23	63	14	1	1454	HCO ₃ SO ₄ Mg
Улаатай (горный)	69	30	1	0	22	76	1	1	1962	SO ₄ HCO ₃ Mg
Улаатай (речной)	60	38	2	0	24	73	2	1	1979	SO ₄ HCO ₃ Mg
Сенек, нижний	4	64	32	0	24	3	72	0	2649	Cl SO ₄ Na
Коош-Терек	7	9	84	0	10	2	87	1	3100	Cl Na
Хурегечи, верхний	6	9	85	0	23	11	66	0	3500	Cl Na
Хурегечи, нижний	8	42	50	0	45	9	47	0	3675	SO ₄ ClNa-Ca

*- источник не замерзает в зимнее время.

Таблица 14-Характеристика солевого состава вод родников Центральной и Западной Тывы

Название родника	Формула Курлова	Характеристика воды
Шивилиг	$M_{0,04} \frac{HCO_3 88 SO_4 4 Cl 4 NO_3 4}{Ca 45 Na 36 Mg 18 K 2} pH 6,5 T 13,6$	пресные, нейтральные, гидрокарбонатные натриево-кальциевые, холодные
Аспаты	$M_{0,1} \frac{HCO_3 64 SO_4 30 Cl 3 NO_3 2}{Ca 68 Mg 27 Na 4 K 2} pH 7,1 T 7,2$	пресные, нейтральные, сульфатно-гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, холодные
Устуун–Доргун	$M_{0,1} \frac{HCO_3 89 Cl 5 SO_4 3 NO_3 3}{Ca 51 Mg 27 Na 22 K 1} pH 7,0 T 9,2$	пресные, нейтральные, гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, холодные
Ала-Тайга	$M_{0,1} \frac{HCO_3 80 SO_4 16 Cl 3 NO_3 1}{Ca 76 Mg 21 Na 2 K 1} pH 6,2 T 12,1$	пресные, слабокислые, гидрокарбонатно-кальциевые, холодные
Бел	$M_{0,1} \frac{HCO_3 76 SO_4 12 Cl 12 NO_3 1}{Ca 65 Mg 22 Na 12 K 1} pH 6,9 T 8,1$	пресные, нейтральные, гидрокарбонатно-кальциевые, холодные
Терек-Доргун	$M_{0,2} \frac{HCO_3 86 SO_4 11 Cl 3}{Ca 47 Mg 47 Na 6} pH 6,1 T 11,1$	пресные, слабокислые, гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, холодные
Талдыг- Ой	$M_{0,2} \frac{HCO_3 85 SO_4 12 NO_3 2 Cl 1}{Ca 64 Mg 25 Na 10 K 1} pH 7,7 T 7,9$	пресные, слабощелочные, гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, холодные
Час – Адыр (основной)	$M_{0,3} \frac{HCO_3 92 Cl 4 SO_4 3 NO_3 1}{Ca 80 Mg 17 Na 3 K 1} pH 7,6 T 16,4$	пресные, слабощелочные, гидрокарбонатно-кальциевые, холодные
Алаш	$M_{0,3} \frac{HCO_3 85 NO_3 7 SO_4 6 Cl 2}{Mg 49 Ca 42 Na 9 K 1} pH 6,7 T 11$	пресные, нейтральные, гидрокарбонатные кальциево-магниевые, холодные
Талдыг-Чарык	$M_{0,4} \frac{HCO_3 71 SO_4 27 Cl 1 NO_3 1}{Ca 62 Na 20 Mg 18 K 1} pH 7,5 T 12,3$	пресные, нейтральные, сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые, холодные
Час-Адыр (горячий)	$M_{0,4} \frac{HCO_3 67 Cl 26 SO_4 6 NO_3 1}{Ca 63 Na 26 Mg 10 K 1} pH 6,6 T 11$	пресные, нейтральные, хлоридно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые, холодные
Чолдак Чыраа-Булак	$M_{0,4} \frac{HCO_3 84 SO_4 13 NO_3 2 Cl 1}{Ca 50 Mg 37 Na 13} pH 7,3$	пресные, нейтральные, гидрокарбонатные магниевые-кальциевые
Суглуг-Ой	$M_{0,4} \frac{HCO_3 68 SO_4 19 NO_3 10 Cl 3}{Ca 65 Mg 17 Na 17} pH 7,7 T 22,4$	пресные, слабощелочные, гидрокарбонатно-кальциевые, тёплые
Хаттыг-Чазы	$M_{0,5} \frac{HCO_3 67 SO_4 17 Cl 10 NO_3 6}{Mg 54 Ca 26 Na 19 K 1} pH 6,9 T 10,4$	пресные, нейтральные, гидрокарбонатные кальциево-магниевые, холодные

Адарган	$M_{0,5} \frac{SO_4 66 HCO_3 33 Cl 1 K 1}{Ca 64 Mg 33 Na 3} pH 7,1 T 5,8$	пресные, нейтральные, гидрокарбонатно-сульфатные магниевые-кальциевые, холодные
Дыттыг-Дергун	$M_{0,5} \frac{HCO_3 85 SO_4 13 Cl 1}{Mg 56 Ca 38 Na 6} pH 7,3$	пресные, нейтральные, гидрокарбонатные кальциево-магниевые
Ак-Холь	$M_{0,5} \frac{HCO_3 61 Cl 32 SO_4 32}{Na 63 Ca 20 Mg 16 K 1} pH 7,1 T 11,3$	пресные, нейтральные, хлоридно-гидрокарбонатные натриевые, холодные
Сенек, верхний (выход 4)	$M_{0,7} \frac{HCO_3 60 Cl 23 SO_4 17 NO_3 1}{Mg 35 Na 35 Ca 29 K 1} pH 7,0 T 8,9$	пресные, нейтральные, гидрокарбонатные кальциево-натриево-магниевые, холодные
Сенек, верхний (выход 2)	$M_{0,7} \frac{HCO_3 60 Cl 22 SO_4 17 NO_3 1}{Mg 38 Na 35 Ca 26 K 1} pH 7,0 T 9,9$	пресные, нейтральные, гидрокарбонатные кальциево-натриево-магниевые, холодные
Утуг-Дуруг	$M_{1,4} \frac{SO_4 50 HCO_3 46 Cl 3 NO_3 1}{Mg 63 Ca 23 Na 14 K 1} pH 7,2 T 10,8$	солончатые, нейтральные, гидрокарбонатно-сульфатные магниевые, холодные
Улаатай (горный)	$M_{1,9} \frac{HCO_3 69 SO_4 30 Cl 1}{Mg 76 Ca 22 Na 1 K 1} pH 7,3 T 13,9$	солончатые, нейтральные, сульфатно-гидрокарбонатные магниевые, холодные
Улаатай (речной)	$M_{1,9} \frac{HCO_3 60 SO_4 38 Cl 2}{Ca 73 Mg 24 Na 2 K 1} pH 7,1 T 5,4$	солончатые, нейтральные, сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые, холодные
Сенек (нижний)	$M_{2,6} \frac{SO_4 64 Cl 32 HCO_3 4}{Na 72 Ca 24 Mg 3} pH 7,2 T 15,1$	солончатые, нейтральные, хлоридно-сульфатные натриевые, холодные
Коош-Терек	$M_{3,1} \frac{Cl 84 SO_4 9 HCO_3 7}{Na 87 Ca 10 Mg 2 K 1} pH 6,6 T 17,6$	солончатые, нейтральные, хлоридно-натриевые, холодные
Хурегечи, верхний	$M_{3,5} \frac{Cl 85 SO_4 9 HCO_3 6}{Na 66 Ca 23 Mg 11} pH 6,4 T 4,5$	солончатые, слабокислые, хлоридно-натриевые, холодные
Хурегечи, нижний	$M_{3,6} \frac{Cl 50 SO_4 42 HCO_3 8}{Na 47 Ca 45 Mg 9} pH 7,2 T 7$	солончатые, нейтральные, сульфатно-хлоридные кальциево-натриевые, холодные

Как следует из таблицы 15, преобладающим является гидрокарбонатный тип воды, а по своему катионному составу преимущественно кальциевый и кальциево-магниевый (магниевый-кальциевый). В целом на исследуемой территории присутствуют следующие типы вод: гидрокарбонатно-кальциевые; гидрокарбонатные кальциево-магниевые (магниевый-кальциевый);

гидрокарбонатные натриево-кальциевые; гидрокарбонатные кальциево - магниевые-натриевые (кальциево-натриево-магниевые). Менее распространенным типом вод на данной территории являются гидрокарбонатно-сульфатные (сульфатно-гидрокарбонатные), которые по своему катионному составу магниевые, кальциевые и магниевые-кальциевые. Также на этом участке отмечаются хлоридные типы вод (родники Коош-Терек, Хурегечи (нижний)), являясь натриевыми по катионному составу. Встречены смешанные типы вод, которые по анионному составу сульфатно-хлоридные и хлоридно-гидрокарбонатные, а по катионному составу кальциевые, натриевые и натриево-кальциевые.

5.2.2 Характеристика поведения макрокомпонентов родниках

Анализ данных химического состава вод, приведенных в таблице 13, позволил выделить некоторые основные закономерности формирования химического состава подземных вод. Для получения большей наглядности представляемого материала данные разбиты на две группы в зависимости от степени минерализации - до 1000 мг/л и 1000 - 4000 мг/л.

В первой группе пресных вод родников отмечается некоторая тенденция к возрастанию величины рН среды с ростом минерализации вод (рисунок 37 (а)). Этот характер наблюдается в области нейтральных значений рН вод, т.к. группа пресных вод приурочена преимущественно к нейтральной области рН. Исключение составили воды трёх родников, которые по кислотно-щелочным условиям являются слабощелочными. Обратная связь величины рН вод от степени их минерализации наблюдается у группы солоноватых вод. Как видно из рисунка 37 (б) с ростом минерализации снижается уровень рН среды, но также в области нейтральных значений.

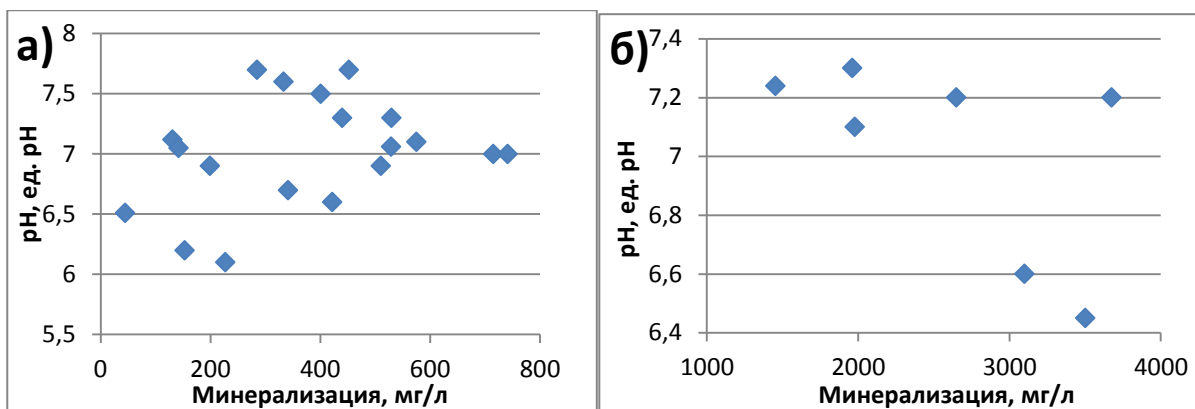


Рисунок 37 - Зависимость содержания величины рН от минерализации вод
а) при $M < 1000$ мг/л б) при $M > 1000$ мг/л

Зависимость общей жёсткости воды исследуемых родников от ее минерализации (в пределах до 1000 г/л), представленная на рисунке 38 (а), показывает, что в пресных водах с увеличением минерализации возрастает степень жесткости вод. Воды родников становятся более жёсткими. У солоноватых вод (рисунок 38 б) отмечается в основном жёсткий и очень жёсткий характер и зависимости не наблюдается.

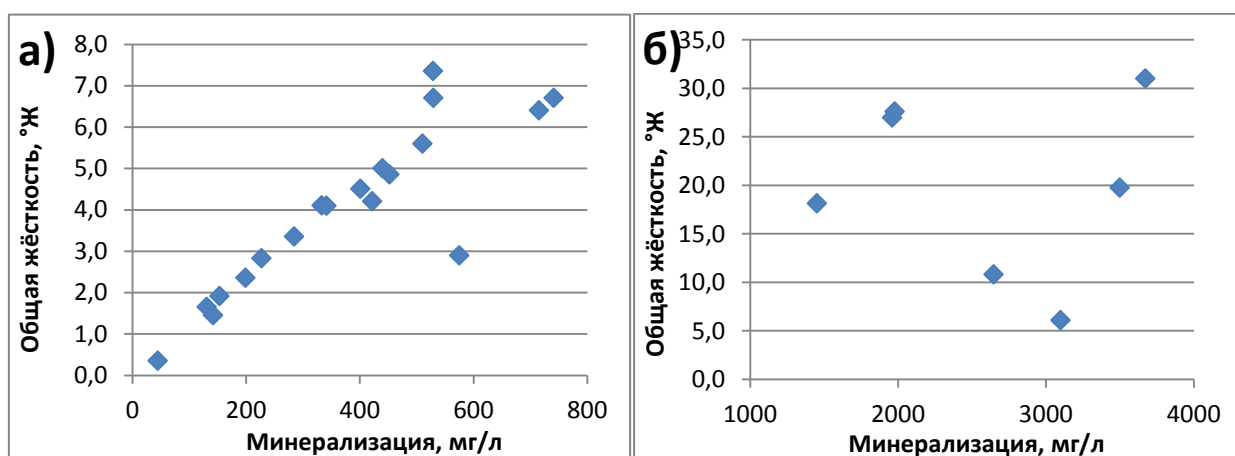


Рисунок 38 - Зависимость величины общей жёсткости от минерализации вод
а) при $M < 1000$ мг/л б) при $M > 1000$ мг/л

Исследования характера зависимости содержания основных компонентов вод от степени их минерализации показали, что для преобладающей части исследуемых вод родников содержание гидрокарбонат иона в водах с ростом минерализации возрастает только в области до 1,0 г/л (Рисунок 39 а). В водах с минерализацией от 1,0 до 6,0 г/л определенной зависимости не отмечается, точки расположены в хаотичном порядке (Рисунок 39 б).

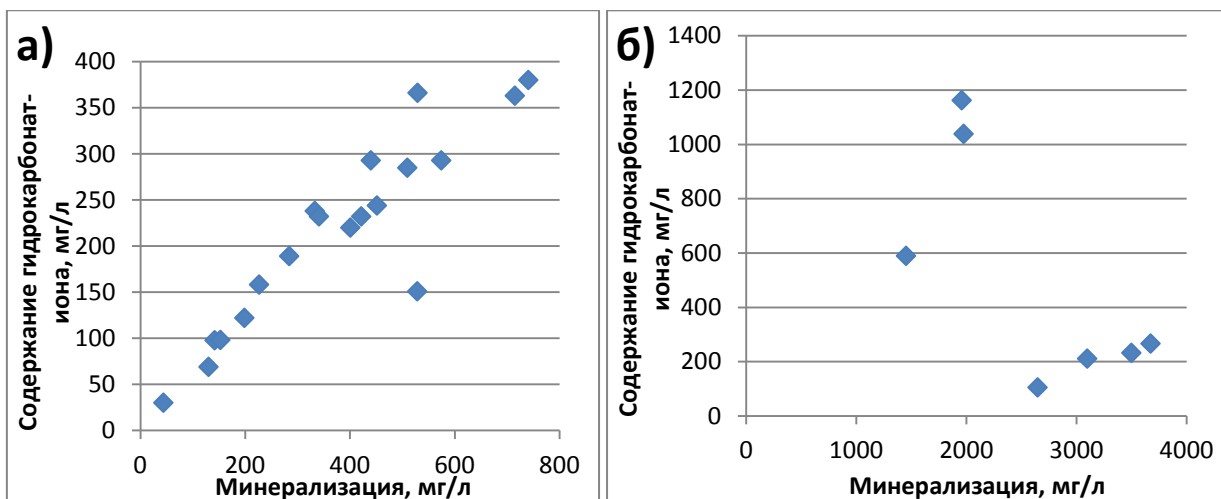


Рисунок 39- Зависимость содержания иона гидрокарбоната от минерализации вод а) при $M < 1000$ мг/л б) при $M > 1000$ мг/л

Количество сульфат-иона в водах незначительно зависит от степени их минерализации. На рисунке 40 видно, что с ростом минерализации вод имеется некоторая неравномерная тенденция к возрастанию содержания сульфат-иона в водах.

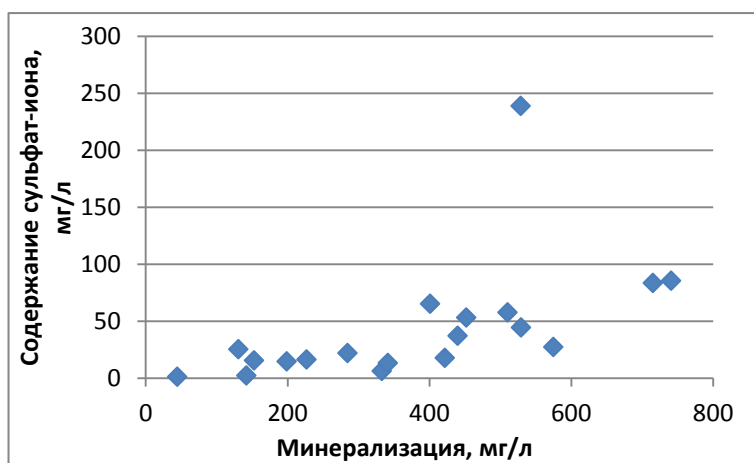


Рисунок 40-Зависимость содержания иона сульфата от минерализации вод

Для хлорид-иона и нитрат-иона явной зависимости их содержания в водах от минерализации не наблюдается. Как видно из рисунках 41 и 42 точки на графиках зависимости содержания компонентов от минерализации вод расположены в хаотичном порядке и для вод с минерализацией до 500 мг/л находятся преимущественно в области значений до 10 мг/л.

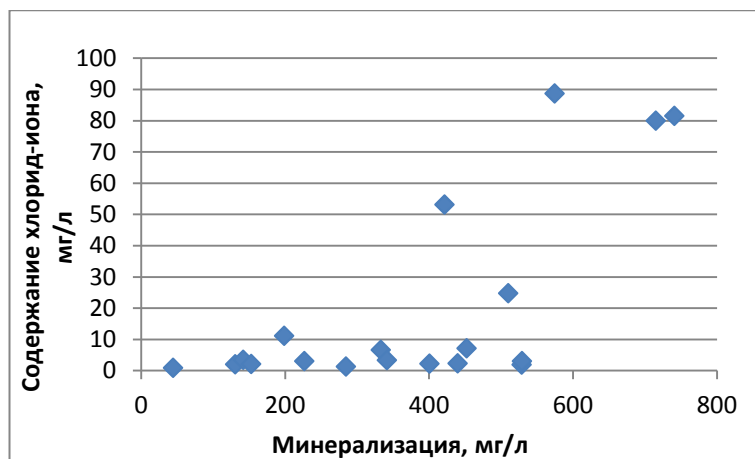


Рисунок 41- Зависимость содержания иона хлорида от минерализации вод

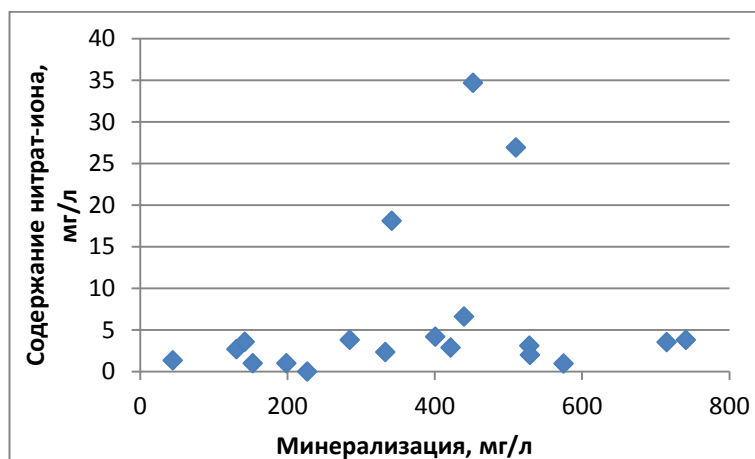


Рисунок 42- Зависимость содержания иона нитрата от минерализации вод

Прямопропорциональная зависимость содержания компонентов от степени минерализации вод характерна для ионов кальция и магния, что наблюдается на рисунках 43 и 44. С ростом минерализации вод содержание этих катионов увеличивается.

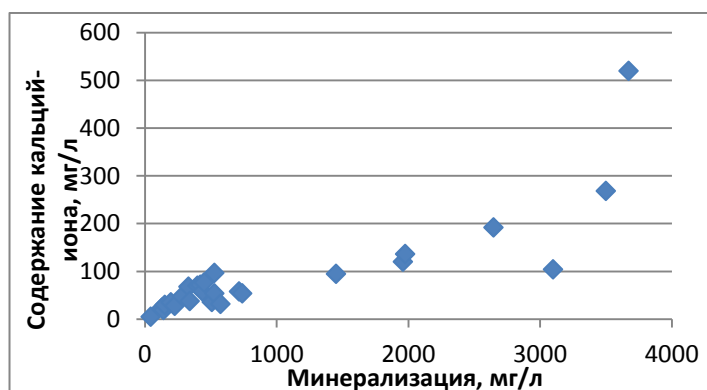


Рисунок 43-Зависимость содержания иона кальция от минерализации вод

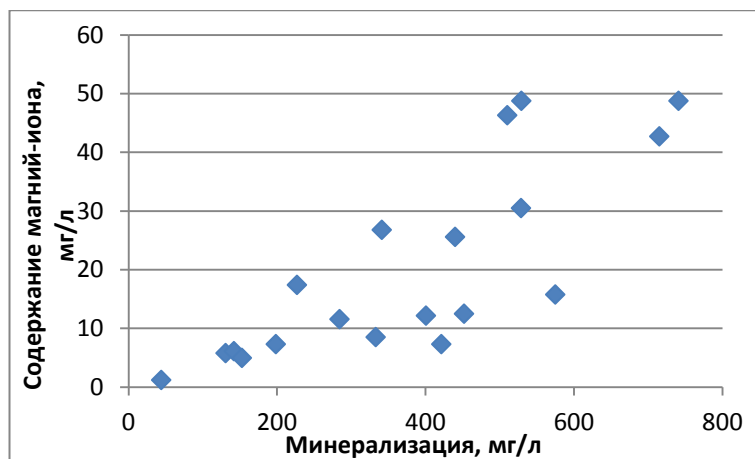


Рисунок 44-Зависимость содержания иона магния от минерализации вод

Некоторое возрастание содержания с ростом минерализации вод родников отмечается для натрий-иона и калий-иона, которое изображено на рисунках 45 и 46.

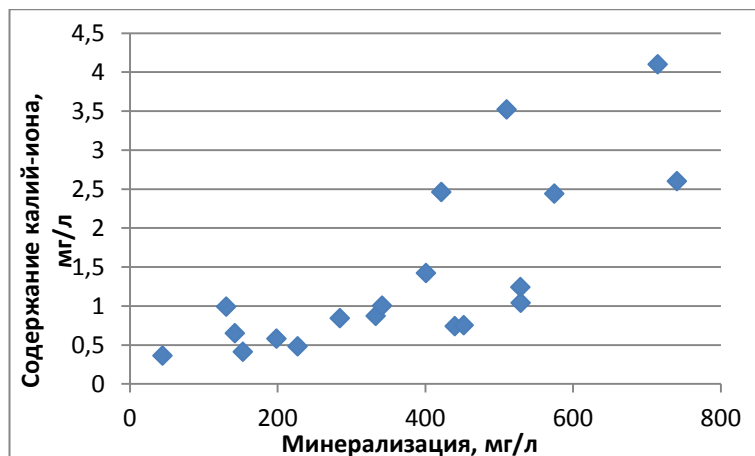


Рисунок 45-Зависимость содержания иона калия от минерализации вод

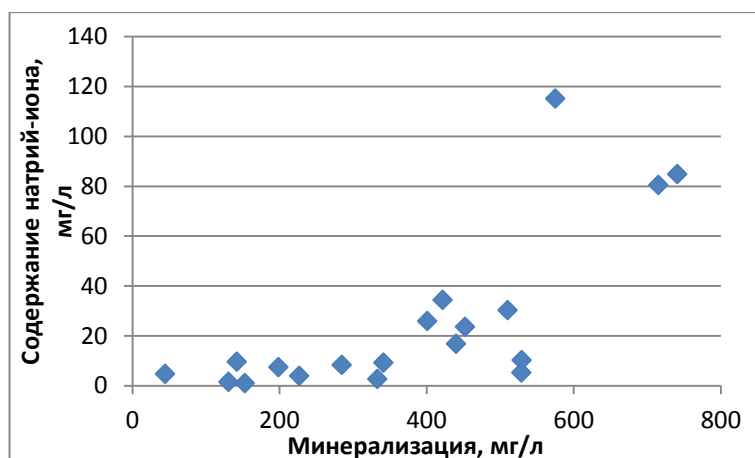


Рисунок 46- Зависимость содержания иона натрия от минерализации вод

Как было отмечено ранее, первые сведения об исследованиях вод родников Республики Тыва относятся еще ко второй половине XIX века.

Широчайшее исследование по изучению химического состава вод провёл Пиннекер Е. В. в 1966 году. Сопоставление данных основного солевого состава вод некоторых родников полученных летом 1966 г [18] и 2013 г., представленных в таблице 15 показало, что при незначительных колебаниях минерализации, pH и содержании макрокомпонентов наблюдается стабильность основного солевого состава родников, кислотно-основных условий среды, а также их минерализации.

Таблица 15- Химический состав родников по результатам исследований 1966 и 2013 гг.

Название родника	1966 г.			2013 г.		
	Минерализация г/л	Формула солевого состава	pH	Минерализация г/л	Формула солевого состава	pH
Час - Адыр (основной)	0,32	$\frac{HCO_3 92}{Ca 50 Na 31 Mg 18}$	-	0,3	$\frac{HCO_3 92 Cl 4 SO_4 3 NO_3 1}{Ca 80 Mg 17 Na 3 K 1}$	7,6
Алаш (Алашский)	0,28	$\frac{HCO_3 94}{Mg 48 Ca 44 Na 8}$	-	0,3	$\frac{HCO_3 85 NO_3 7 SO_4 6 Cl 2}{Mg 49 Ca 42 Na 9 K 1}$	6,7
Улаатай (речной)	2,15	$\frac{HCO_3 70 SO_4 29}{Mg 71 Ca 21 Na 7}$	7,1	1,9	$\frac{HCO_3 60 SO_4 38 Cl 2}{Ca 73 Mg 24 Na 2 K 1}$	7,1
Хурегечи (верхний)	3,0	$\frac{Cl 84 HCO_3 11}{Na 80 Ca 17}$	8,4	3,5	$\frac{Cl 85 SO_4 9 HCO_3 6}{Na 66 Ca 23 Mg 11}$	6,4

Таким образом, исследования содержания макрокомпонентов в подземных водах родников Центральной и Западной Тывы показали, что воды пресных родников исследуемой территории имеют в основном стабильный химический состав, являясь гидрокарбонатными кальциево-магниевыми (магниево-кальциевыми) нейтральными. Это подтверждается характером зависимости содержания основных ионов подземных вод от их минерализации. Солоноватые воды исследуемой территории имеют пёстрый химический состав. Выявлены сульфатно-гидрокарбонатный (гидрокарбонатно-сульфатный) магниевый, хлоридно-натриевый, сульфатно-хлоридный (хлоридно-сульфатный) натриевый типы воды.

5.2.3 Характеристика микрокомпонентного состава родников

Микрокомпонентный состав вод родников Центральной и Западной Тывы очень разнообразен. Содержание в исследуемых водах ряда микрокомпонентов представлено в таблице 16. Из таблицы видно, что в исследуемых водах уровень содержаний изученных микрокомпонентов различен и варьирует в широких пределах.

Наименьшие концентрации характерны для **бериллия**, содержание которого в водах всех исследуемых источников не превышает десятитысячных долей мг/л. На таком же уровне наблюдается содержание в этих водах **кадмия**. Исключением являются воды родника Сенек (верхний, выход 4) где содержание кадмия достигает тысячных долей и составляет 0,0058 мг/л. Установленные для этих элементов концентрации согласуются с их средним содержанием, отмеченным для подземных вод зоны гипергенеза [25].

Несколько отличное содержание отмечается у **титана, ванадия, меди и кобальта**. Их концентрации в водах родников находятся на уровне тысячных долей и не превышают 0,001 мг/л. В таких же концентрациях (менее 0,001 мг/л) наблюдается содержание **хрома, никеля и свинца**. При этом в некоторых родниках выявлены концентрации, которые иногда больше 0,001 мг/л. Так, в водах родников Алаш и Терек-Доргун содержание хрома составляет 0,0042 и 0,0028 мг/л соответственно.

Концентрации **никеля** в водах девяти родников колеблются в пределах от 0,0014 до 0,0035 мг/л и в единичном случае достигают сотых долей миллиграмма (0,011 мг/л в водах родника Утуг-Дуруг).

Таблица 16- Микрокомпонентный состав родников Центральной и Западной Тывы

Источники	Микрокомпоненты, мг/л												
	Te	Mo	Mn	Zn	As	Se	Li	Fe	Ba	B	Al	Sr	Si
Среднее содержание*	-	0,00234	0,0297	0,0144	0,002	<0,00107	0,00603	0,556	0,014	0,02	0,304	-	-
Шивилиг	0,0076	0,012	0,018	0,031	0,009	0,016	0,027	0,061	0,045	0,023	0,09	0,039	9,939
Аспаты	0,0025	0,0023	0,0084	0,013	0,021	0,0082	0,0079	0,122	0,026	0,019	0,03	0,066	1,906
Устуун-Доргун	0,01	0,011	0,0094	0,022	0,02	0,028	0,041	0,078	0,037	0,05	0,046	0,077	9,035
Ала Тайга	0,0039	0,0017	0,011	0,016	0,009	0,011	0,0048	0,053	0,055	0,018	0,027	0,082	2,036
Бел	0,0037	0,0017	0,011	0,013	0,012	0,097	0,02	0,057	0,043	0,047	0,037	0,131	4,804
Терек-Доргун	0,0011	0,0019	0,023	0,028	0,011	0,011	0,0066	0,051	0,062	0,058	0,039	0,174	4,189
Талдыг-Ой	<0,001	0,085	0,01	0,01	0,012	0,013	0,0077	0,033	0,033	0,023	0,04	0,134	6,259
Час-Адыр (основной)	0,0041	0,0013	0,013	0,028	0,011	0,0093	0,0096	0,039	0,18	0,021	0,046	0,243	3,984
Алаш	0,0038	0,0046	0,012	0,021	0,02	0,022	0,027	0,026	0,088	0,073	0,039	0,247	6,863
Талдык-Чарык	0,0026	0,004	0,01	0,019	0,013	0,012	0,036	0,052	0,047	0,039	0,038	1,0109	6,525
Час-Адыр (горячий)	0,0046	0,0049	0,012	0,016	0,043	0,0093	0,112	0,023	0,043	0,07	0,038	0,523	6,194
ЧолдакЧыраа-Булак	0,001	0,0028	0,0098	0,012	0,014	0,016	0,0086	0,027	0,034	0,048	0,039	0,687	5,406
Сулуг-Ой	0,0057	0,0027	0,011	0,245	0,013	0,011	0,015	0,023	0,043	0,059	0,046	0,474	6,869
Хатыг-Чазы	0,0041	0,013	0,023	0,028	0,022	0,016	0,032	0,032	0,077	0,053	0,058	1,026	5,806
Адарган	0,0024	0,0036	0,011	0,013	0,01	0,016	0,027	0,02	0,033	0,035	0,034	2,409	4,702
Дыттыг-Дергун	<0,001	0,0011	0,011	0,024	0,008	0,011	0,0079	0,071	0,035	0,05	0,045	0,457	5,299
Ак-Холь	0,0027	0,0096	0,011	0,026	0,017	0,013	0,078	0,061	0,032	0,427	0,039	0,189	4,504
Сенек, верхний (выход 4)	<0,001	0,008	0,003	0,014	0,044	0,052	0,045	0,03	0,012	0,164	0,059	0,434	5,26
Сенек, верхний (выход 2)	<0,001	0,0063	0,013	0,036	0,01	0,0062	0,038	0,039	0,041	0,116	0,042	0,418	4,716
Утуг-Дуруг	0,0035	0,0061	0,014	0,015	0,015	0,018	0,063	0,0061	0,07	0,16	0,038	5,869	3,91
Улаатай (горный)	0,005	0,0021	0,017	0,015	0,01	0,0098	0,068	0,0025	0,059	0,041	0,043	0,188	4,007
Улаатай (речной)	0,0024	0,0022	0,017	0,014	0,011	0,0093	0,059	0,033	0,052	0,033	0,04	0,247	4,091
Коош-Терек	0,024	0,0072	0,0096	0,03	0,046	0,061	0,438	0,095	0,049	0,506	0,09	3,225	4,745
Хурегечи, верхн.	0,022	0,0022	0,0055	0,019	0,049	0,044	0,015	0,045	0,5	0,078	0,118	0,794	2,773
Хурегечи, нижн.	0,01	0,0082	0,0027	0,013	0,046	0,04	0,028	0,041	0,019	0,14	0,078	4,447	2,383
Сенек, нижний	<0,001	0,015	0,732	0,046	0,065	0,026	0,706	0,401	0,117	3,103	0,124	7,739	8,475

Продолжение таблицы 16

Источники	Микрокомпоненты, мг/л
-----------	-----------------------

	Be	Cd	Ti	V	Cu	Co	Cr	Ni	Pb	Ag	Sb	W	Bi	Sn
Среднее содержание*	<0,00025	<0,00043	0,00863	0,00111	0,0068	0,00072	0,0028	0,00229	0,00249	0,00033	0,00135	-	-	0,00037
Шивилиг	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Аспаты	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Устуун-Доргун	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0015	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Ала Тайга	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Бел	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0019	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Терек-Доргун	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0028	0,0014	0,0018	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Талдыг-Ой	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0013	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Час-Адыр (основной)	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0015	0,0025	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Алаш	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0042	0,0028	<0,001	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Талдык-Чарык	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0014	0,0016	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Час-Адыр (горячий)	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0014	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Чолдак Чыраа-Булак	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Сулуг-Ой	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0027	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Хатыг-Чазы	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0015	0,0015	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Адарган	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Дыттыг-Дергун	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0035	<0,001	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Ак-Холь	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0028	<0,001	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Сенек, верхний (выход 4)	<0,0001	0,0058	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	0,074
Сенек, верхний (выход 2)	<0,0001	0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0019	<0,001	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Утуг-Дуруг	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,011	<0,001	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Улаатай (горный)	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Улаатай (речной)	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Коош-Терек	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	0,077
Хурегечи, верхн.	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Хурегечи, нижн.	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05
Сенек, нижний	<0,0001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	0,056

*Среднее содержание для подземных вод зоны гипергенеза провинции горных областей [25]

Аналогичная ситуация отмечается для **свинца**, содержание которого в водах ряда родников варьирует от 0,0013 до 0,0027 мг/л. В целом отмеченные концентрации указанных выше микрокомпонентов приближены или немного превышают среднее содержание этих компонентов в подземных вод зоны гипергеназа характерное для провинции горных областей [25].

Как показывают данные таблицы 15, концентрации **серебра и сурьмы** в водах родников находятся на одинаковых уровнях, не превышающем 0,005 мг/л и приближенном к среднему содержанию этих компонентов в подземных водах зоны гипергенеза.

Не высокая распространенность в водах исследуемых источников наблюдается для таких компонентов как **вольфрам, висмут и олово**. Их содержание в этих водах менее 0,05 мг/л. Единичное исключение представляет родник Сенек (верхний, выход 4), концентрация олова в котором составляет 0,074 мг/л.

Для **теллура** характерно преобладание концентраций на уровне тысячных долей мг/л в интервале значений от 0,0010 до 0,0076 мг/л. В водах родников Талдыг-Ой, Дыттыг-Дергун, Сенек (верхний, выходы 4 и 2) и Сенек (нижний) его содержание составляют менее 0,001 мг/л, являясь минимальными. Исключением из представленной выборки являются воды родников Устуун-Доргун, Коош-Терек и Хурегечи (верхний и нижний), где концентрация теллура колеблется в пределах от 0,010 до 0,024 мг/л.

Концентрация **молибдена** изменяется в пределах одного порядка и варьирует от 0,0011 до 0,085 мг/л. При этом преобладающая часть родников содержит его на уровне тысячных долей, изменяясь от 0,0011 до 0,0096 мг/л. Эти концентрации молибдена несколько превышают таковые для горных областей зоны гипергенеза.

Содержание в исследуемых водах **марганца** преимущественно находится на уровне сотых долей, изменяясь в пределах от 0,010 до 0,023 мг/л. Несколько повышенное содержание данного микрокомпонента характерно для вод родника Сенек (нижний), где его концентрация достигает

0,7 мг/л. Наименьшие его значения 0,0027 мг/л наблюдаются в водах родника Хурегечи (нижний). Наиболее часто встречаемые его концентрации несколько ниже установленных для подземных вод зоны гипергенеза [25].

Похожий с марганцем характер распространённости имеет **цинк**, который колеблется в пределах одного порядка, изменяясь от 0,010 до 0,046 мг/л. Максимальная его концентрация на уровне десятых долей миллиграмма наблюдается в водах родника Суглуг-Ой, при показателе 0,245 мг/л.

Концентрация **мышьяка** находится на уровне сотых долей, изменяясь в пределах от 0,010 до 0,065 г/л. Минимальные его содержания 0,009 и 0,008 мг/л наблюдаются в родниках Ала Тайга и Дыттыг-Дергун соответственно. Выявленный характер распространённости мышьяка показывает, что в водах большинства источников концентрация мышьяка в 10 раз выше его средних содержаний в водах горных областей зоны гипергенеза [25].

Обращает на себя внимание несколько повышенное содержание в исследуемых водах **лития**. Его концентрация в исследуемых водах колеблется в широком интервале значений, изменяясь в пределах двух порядков (от 0,0048 до 0,438 мг/л). Анализ данных по уровню концентраций лития в водах показал, что его содержание преимущественно сосредоточено в области значений от 0,010 до 0,068 мг/л. Для незначительной части родников его содержание находится на уровне десятых долей, изменяясь от 0,1 до 0,7 мг/л. Минимальное его содержание (0,0048 мг/л) наблюдается в водах родника Ала Тайга. Для большинства родников концентрации лития превышает его средние содержания в водах зоны гипергенеза, находящимся на уровне 0,006 мг/л [25] преимущественно в 10, а порой и в 100 раз.

В большинстве вод источников содержание **селена** находится на уровне сотых долей миллиграмма (в пределах от 0,011 до 0,097 мг/л). Исключением из данной выборки являются воды шести родников, где его концентрация варьирует в пределах тысячных долей миллиграмма, в промежутке от 0,0062 до 0,0093 мг/л. Наиболее часто встречаемые содержания несколько выше для

таковых в водах зоны гипергенеза, находящимся на уровне менее 0,00107 мг/л [25].

Железо в большинстве вод источников находится на уровне сотых долей и варьирует от 0,020 мг/л (родник Адарган) до 0,095 мг/л (родник Коош-Терек). Наименьшие его содержания обнаружены в водах источников Улаатай (горный) и Утуг-Дуруг, концентрации которых составляют 0,0025 и 0,0061 мг/л соответственно, а максимальные - в водах родников Сенек (нижний) и Аспаты, при величине 0,4 и 0,1 мг/л соответственно. Стоит отметить, что содержание железа в водах родников несколько ниже для таких в горных областях зоны гипергенеза [25].

Такие микрокомпоненты как **бор и барий** в большинстве вод источников находятся в одном интервале значений, где уровень их концентраций колеблется в промежутке от 0,012 до 0,088 мг/л. При этом присутствуют единичные случаи их концентраций в пределах десятых долей миллиграмма (от 0,1 до 0,5 мг/л). Исключением из данной выборки являются воды родника Сенек (нижний), концентрация бора в котором достигает 3,1 мг/л, являясь максимальной среди ряда других содержаний. Уровни этих микрокомпонентов несколько выше средних содержаний для вод зоны гипергенеза провинции горных областей.

Содержание **алюминия** в исследуемых подземных водах преимущественно колеблется в пределах одного порядка (от 0,027 до 0,090 мг/л). Максимальные его концентрации обнаружены в водах родников Хурегечи (верхний) и Сенек (нижний) достигая уровня десятых долей и составляя 0,5 и 0,1 мг/л. Эти данные несколько выше средних содержаний алюминия в водах зоны гипергенеза, находящимся на уровне 0,3 мг/л [12].

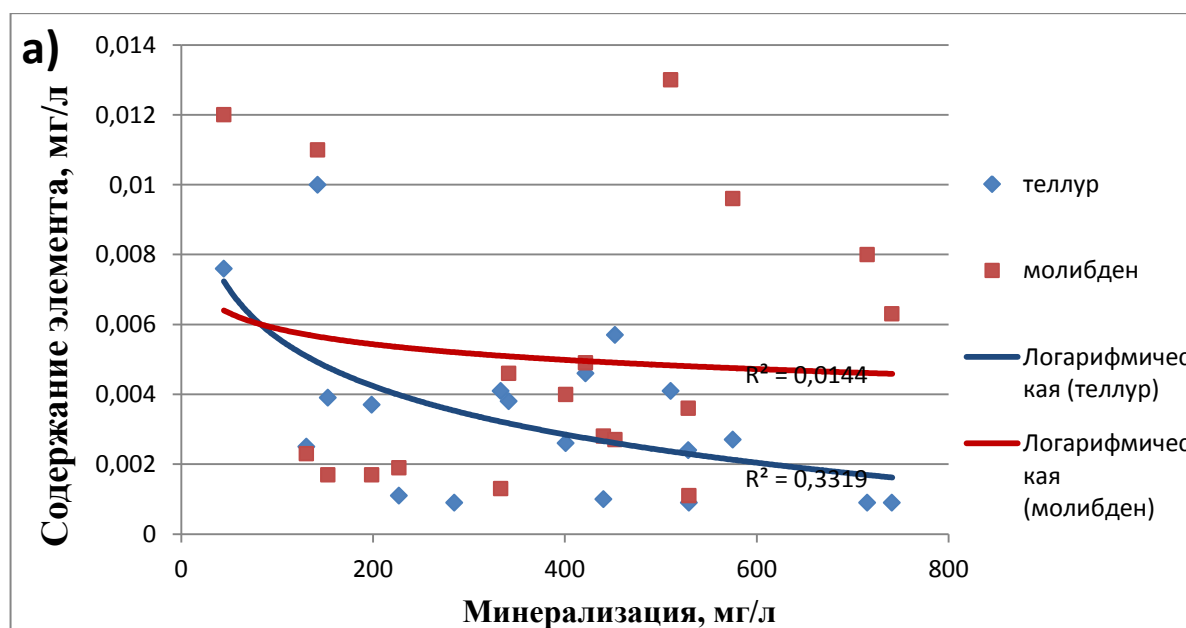
Стронций характеризуется значительным размахом концентраций в водах исследуемых родников, содержание которого изменяется в пределах трёх порядков, варьируя от 0,039 до 7,739 мг/л. При этом преобладающее содержание стронция отмечается на уровне десятых долей и находится в промежутке от 0,1 до 0,7 мг/л. Минимальная его концентрация обнаружена в

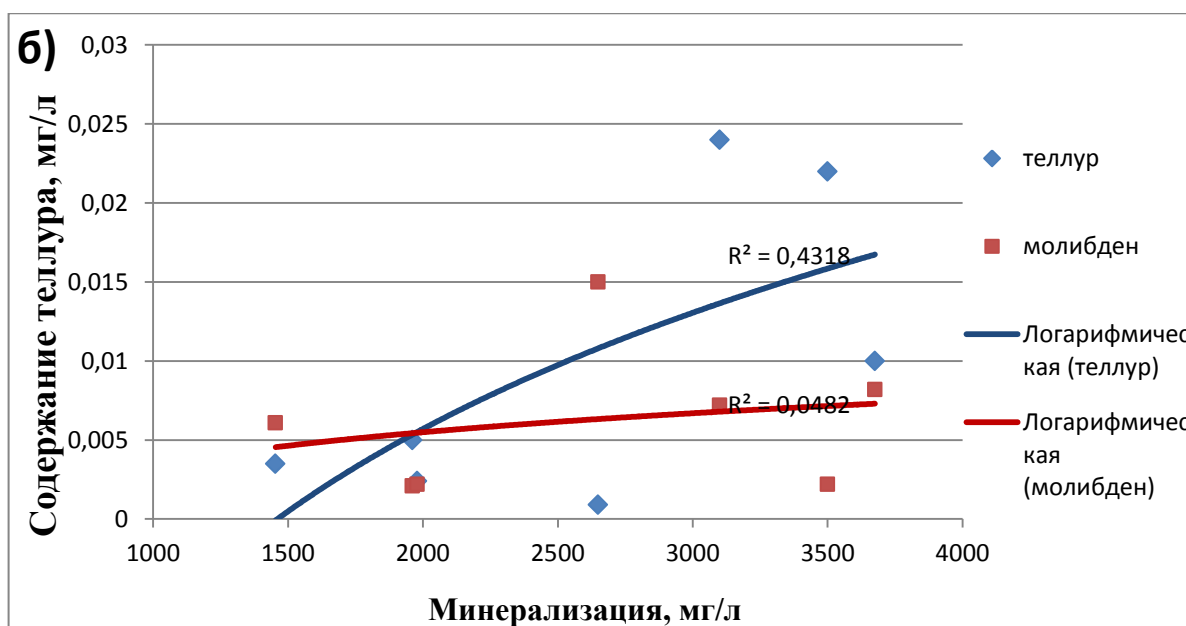
водах родника Шивилиг (0,039 мг/л), а максимальная - в водах родника Сенек (нижний) (7,7 мг/л). В рассматриваемых водах содержание кремния отмечается на уровне от 1,9 мг/л в водах родника Аспаты до 9,9 мг/л в водах родника Шивилиг.

5.2.4 Характеристика поведения микрокомпонентов в родниках

Анализ данных, приведенных в пункте 2.4.3, позволил выделить некоторые основные закономерности формирования химического состава подземных вод.

Взаимосвязь концентраций теллура и молибдена в родниках от степени минерализации вод не выявлена. При различной степени минерализации значение содержаний этих компонентов может колебаться в значительных пределах. Как видно из рисунка 47 (а) в пресных водах концентрация теллура и молибдена преимущественно сосредоточена в одном диапазоне значений (от 0,001 до 0,006 мг/л). Поведение теллура и молибдена по отношению к минерализации в солоноватых водах родников (рисунок 47 б) тоже не обнаружена. Для получения большей наглядности представляемого материала данные по минерализации разбиты на две области до 1000 мг/л и от 1000 до 4000 мг/л.



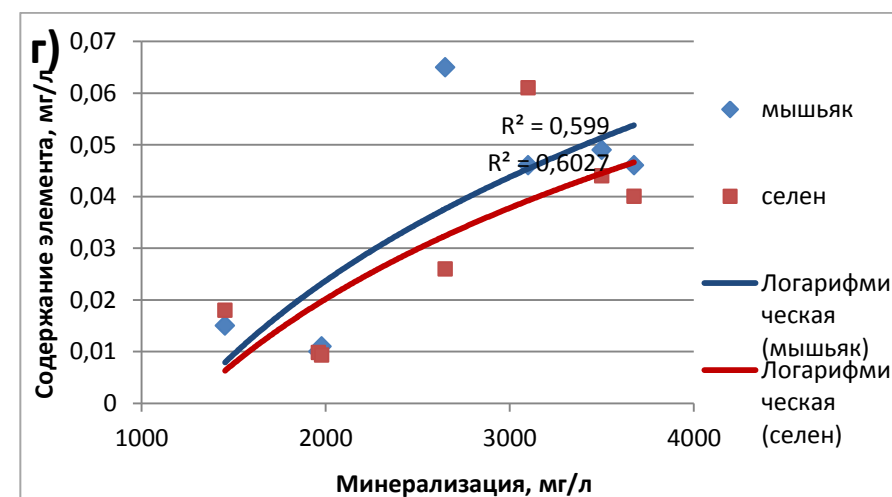
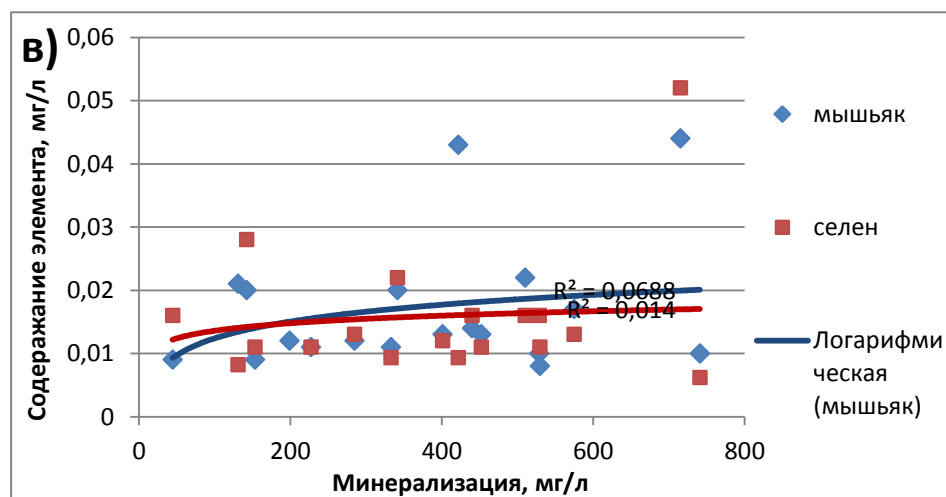
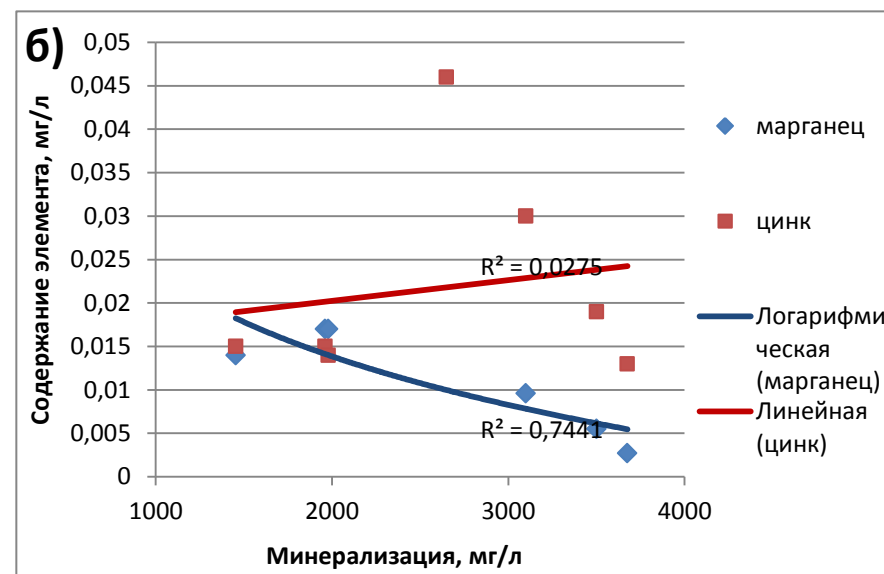
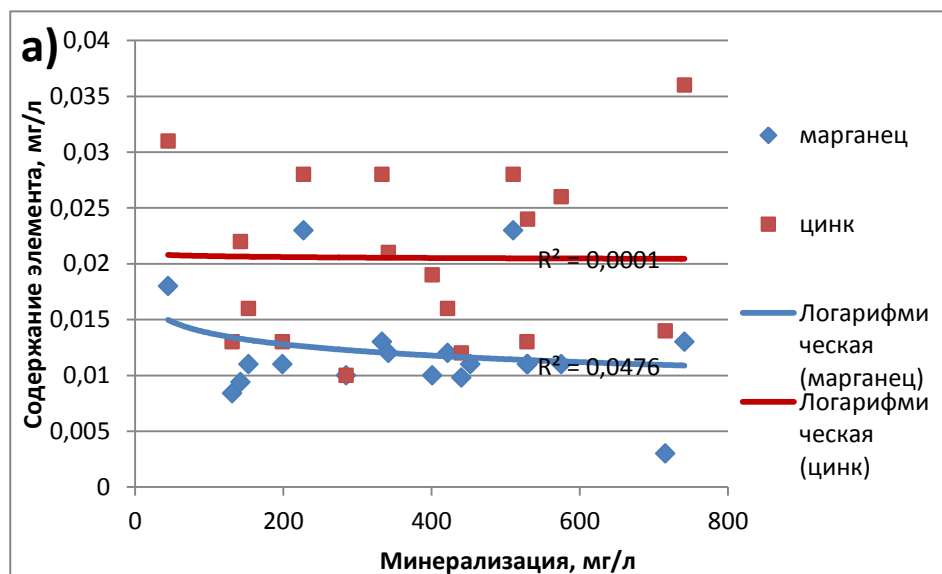


*Максимальное содержание молибдена не отображено на рисунке для большей корректности построения

Рисунок 47-Зависимость содержания теллура и молибдена от минерализации вод а) при $M < 1000$ мг/л б) при $M > 1000$ мг/л

Взаимосвязи содержания в водах родников цинка со степенью их минерализации не выявлено. Как следует из рисунка 48 (а) и (б) отмеченный порядок содержаний цинка в пределах от 0,01 до 0,03 мг/л наблюдается в водах всех уровней минерализации. Аналогичный характер взаимосвязи наблюдается в пресных водах и для марганца. Некоторая тенденция к возрастанию содержания этого элемента в водах отмечается с ростом минерализации от 1000 до 2000 мг/л (Рисунок 48 б), а при минерализации более 2000 мг/л уровень содержаний марганца постепенно уменьшается.

Некоторый рост уровня содержания элемента от степени минерализации прослеживается у мышьяка. Как следует из рисунка 48 (в), по мере увеличения минерализации увеличивается и содержание компонента при единичных случаях его высоких концентраций, которые выбиваются из общего ряда. Этой зависимости у селена не наблюдается. При минерализации более 2000 мг/л взаимосвязи этих элементов от минерализации не выявлено (Рисунок



*Максимальное содержание селена не отображено на рисунке для большей корректности построения

Рисунок 48-Зависимость содержания марганца, цинка, мышьяка и селена от минерализации вод (а; в) при $M < 1000$ мг/л (б; г) при $M > 1000$ мг/л

Характер зависимости содержаний лития от степени минерализации, представленный на рисунке 49 (а), показал, что с ростом минерализации вод до 2 г/л имеется некоторая неравномерная тенденция к возрастанию количества лития в водах, а при минерализации более 2 г/л этой взаимосвязи не наблюдается (рисунок 49 (б)).

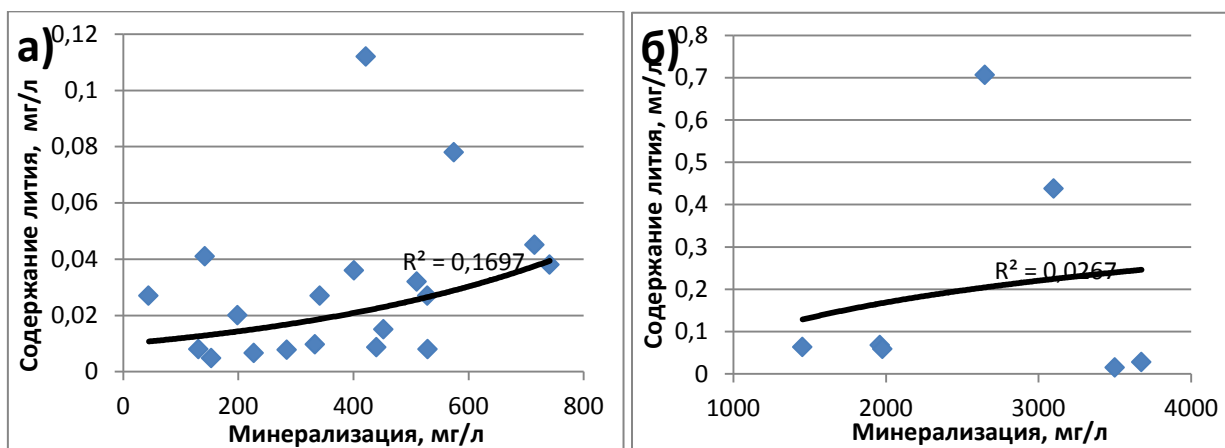


Рисунок 49-Зависимость содержания лития от минерализации вод а) при $M < 1000$ мг/л б) при $M > 1000$ мг/л

Явная взаимосвязь железа и степени минерализации, а именно его убывания, наблюдается на отрезке до 400 мг/л, как видно из рисунка 50 (а). При минерализации более 400 мг/л точки на рисунке 50 (а) и (б) располагаются в хаотичном порядке, между ними зависимости не прослеживается.

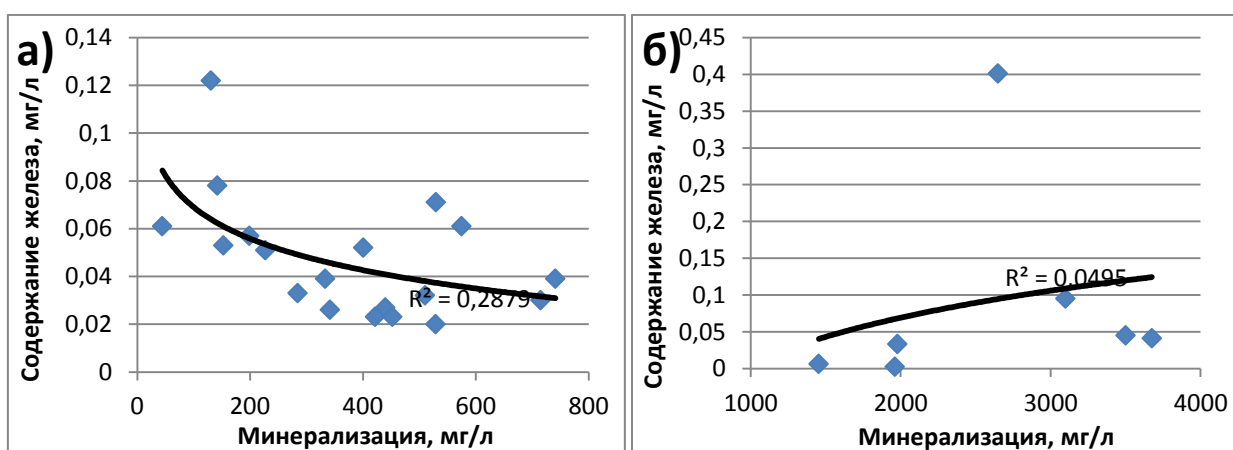
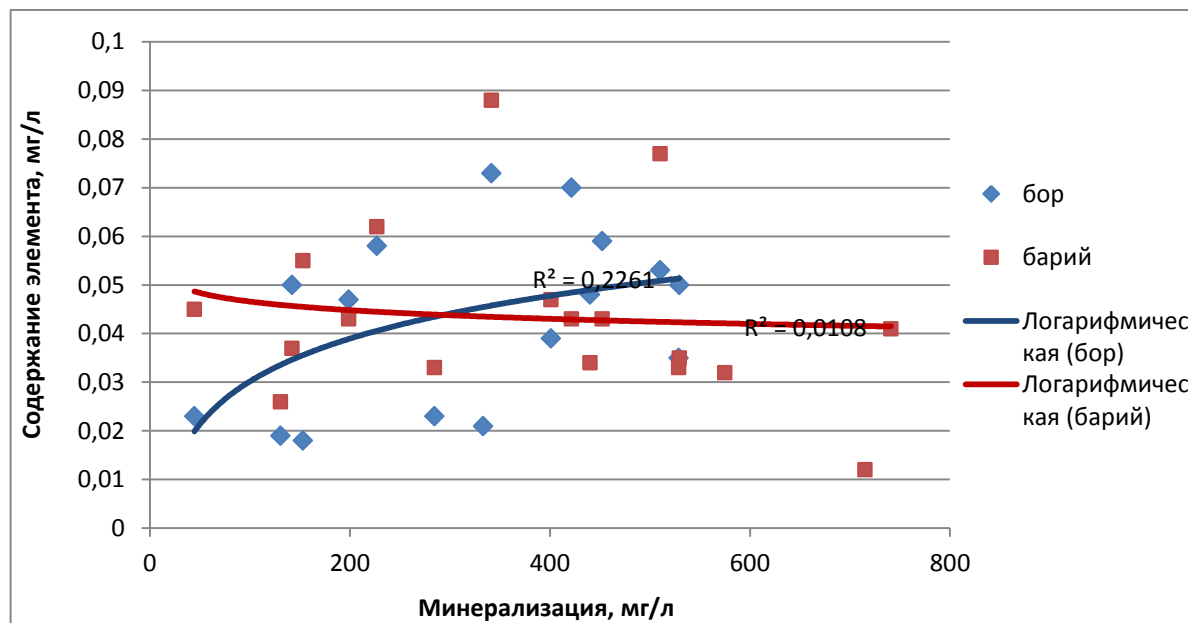


Рисунок 50-Зависимость содержания железа от минерализации вод а) при $M < 1000$ мг/л б) при $M > 1000$ мг/л

Для бора и бария явной зависимости их содержаний в водах от минерализации не наблюдается, точки на графиках расположены в

хаотичном порядке. Как видно из рисунка 51, их содержания находятся преимущественно в области значений от 0,02 до 0,07 мг/л. Единичные значения этих компонентов располагаются в области концентраций от 0,07 до 0,09 мг/л.



*Максимальное содержание бора и бария не отображено на рисунке для большей корректности построения

Рисунок 51-Зависимость содержания бора и бария от минерализации вод менее 1000 мг/л

Характер зависимости содержания в водах алюминия от степени их минерализации показывает некоторый рост уровня содержания элемента с ростом минерализации до 1 г/л (рисунок 52(а)), как и при минерализации более 2 г/л (рисунок 52(б)).

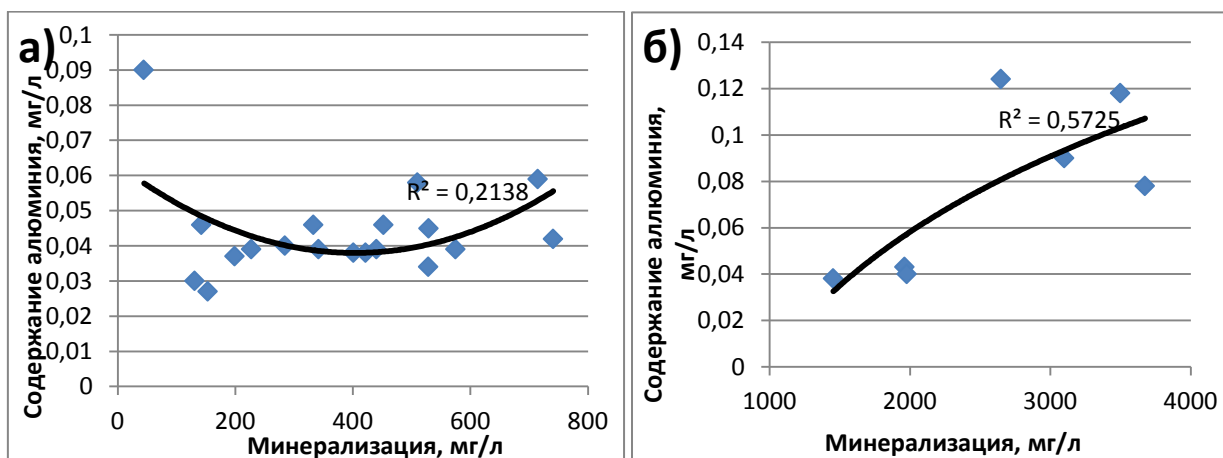
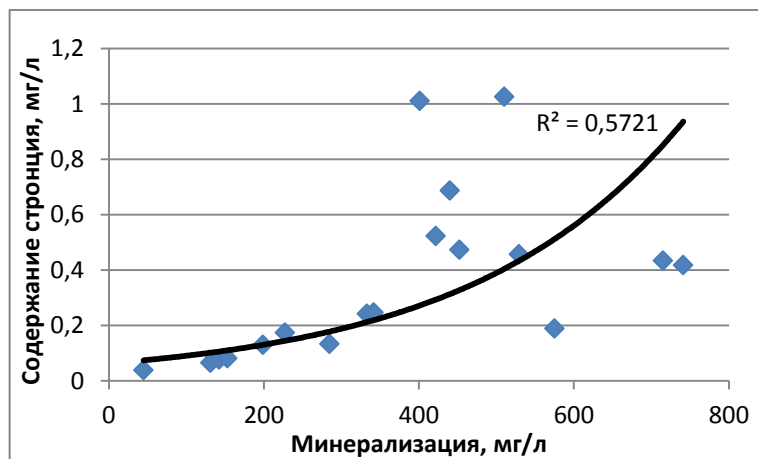


Рисунок 52-Зависимость содержания алюминия от минерализации вод а) при $M < 1000$ мг/л б) при $M > 1000$ мг/л

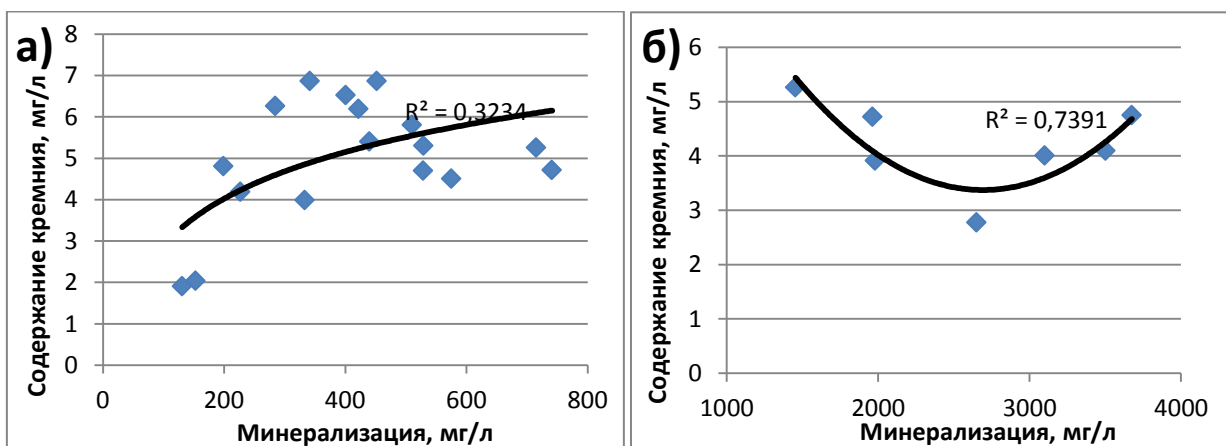
Зависимость содержания в водах стронция от степени их минерализации показана на рисунке 53, где чётко видно, что с ростом минерализации до 400 мг/л количество стронция в водах возрастает. При дальнейшем увеличении степени минерализации этой тенденция не наблюдается.



*Максимальное содержание стронция не отображено на рисунке для большей корректности построения

Рисунок 53-Зависимость содержания стронция от минерализации вод

Как видно из рисунка 54 (а), зависимости содержания в водах кремния от степени их минерализации до 1000 мг/л, концентрация которого сосредоточена в области значений от 4 до 7 мг/л, не наблюдается. При минерализации от 1000 до 3000 мг/л проявляется некоторая тенденция снижения концентраций кремния (Рисунок 54 (б)), а при показателе более 3000 мг/л этого не прослеживается.



*Максимальное содержание кремния не отображено на рисунке для большей корректности построения

Рисунок 54-Зависимость содержания кремния от минерализации вод а) при $M < 1000$ мг/л б) при $M > 1000$ мг/л

6 Качество вод родников Центральной и Западной Тывы

Подземные воды родников Республики Тыва активно используются населением в питьевых целях. Однако, оценка качества этих вод производится лишь визуально и по вкусовым свойствам воды, без уточнения особенностей ее химического состава и установления качества воды.

Исходя из гигиенических требований, предъявляемых к качеству питьевых вод, устанавливаемых санитарными правилами и нормами [26, 27, 28], они должны иметь благоприятные органолептические свойства, безвредный химический состав и быть безопасными в эпидемиологическом отношении. Такое состояние воды, за исключением эпидемиологических норм, определяется ее химическим составом и уровнем содержаний элементов.

Следует заметить, что установленные санитарными правилами нормы к составу и свойствам воды питьевой [28] распространяются на воды с минерализацией до 1500 мг/л. Поэтому оценка качества солоноватых вод по этим требованиям будет не корректной. Возможно правильное их качество рассматривать с позиции отнесения их к минеральным.

Органолептические свойства вод родников

Характер запаха, вкуса, цвета, а также мутность вод, используемых в питьевых целях, определяют их органолептические свойства. Определение этих параметров в водах является обязательным условием при оценке их качества. Определение органолептических свойств подземных вод родников исследуемой территории проводилось для всех пунктов наблюдения. Проведенная оценка органолептических свойств воды выявила следующий их характер:

- Запах – 0 или 1 балл (не обнаруживается или очень слабый);
- Привкус - < 2 баллов (естественного происхождения и может быть охарактеризован как травянистый);
- Цветность – 3-5 градусов;
- Мутность – < 1,5 мг/л.

Из представленных данных следует, что исследуемые подземные воды родников имеют благоприятные органолептические свойства. Они не имеют запаха, с естественным привкусом, бесцветны и прозрачны. Отмеченные органолептические свойства родников соответствуют нормативным требованиям, что указывает на возможность их использования в питьевых целях.

Физические свойства и химический состав родников

Качество питьевой воды обеспечивается безвредностью ее химического состава, который включает обобщенные показатели качества воды (рН, общая жесткость, перманганатная окисляемость, нефтепродукты, минерализация), а также макро- и микрокомпоненты, содержащиеся в природных водах в различных количествах. Допустимые концентрации в воде веществ не должны превышать предельно допустимых норм (ПДК), указанных в [26, 27, 28].

Как отмечалось ранее (п. 5.2.1) уровень рН в пресных водах находится в пределах от 6,5 до 7,7 единиц и соответствует установленным для этого критерия требованиям. Однако следует заметить, что выделяется ряд родников, рН которых находится в области нижней границы установленных для нецентрализованных источников водоснабжения норм. Так, в родниках Ала-Тайга и Терек-Доргун уровень рН составляет 6,2 и 6,1 ед. рН соответственно.

Общая жесткость пресных вод исследуемой территории варьирует в интервале от 0,4 до 7,4 градусов жесткости и находится в допустимых для вод источников нецентрализованного водоснабжения границах норм, составляющих 7-10 градусов жесткости [28].

По показателю общей минерализации большинство вод источников не превышают уровень, установленный гигиеническими требованиями. В большей степени это характерно для пресных вод. Выход за верхнюю границу ПДК отмечается у солоноватых вод шести родников (Улаатай (горный и речной), Сенек (нижний), Коош-Терек, Хурегечи (нижний и

верхний)), где величина этого показателя варьирует в пределах от 1962 до 3675 мг/л.

Содержание в исследуемых водах нормируемых макрокомпонентов варьирует в широких пределах и согласуется с ПДК. Так, содержание сульфат - иона в пресных водах источников колеблется в широком интервале значений, изменяясь от 1,1 до 85,5 мг/л, и не превышает допустимой нормы, составляющей 500 мг/л.

Как показывают данные таблицы 17, содержание хлорида в пресных подземных водах родников колеблется в пределах от 0,8 до 88,7 мг/л и соответствует установленным санитарным нормам.

Содержание нитратов в пресных водах источников соответствует требованиям санитарных норм, которые согласно [26, 28] не должны быть больше 45 мг/л. Концентрация натрия в водах большинства родников варьирует в пределах от 0,94 до 115,00 мг/л, которые согласно [26,27] не должны превышать 200 мг/л.

Микрокомпонентный состав подземных вод Центральной и Западной Тывы очень разнообразен, что было отмечено ранее в п. 5.2.3 и представлен элементами, характеризующие различную степень опасности для организма человека. Согласно СанПиН 2.1.4.1074-02 все компоненты химического состава вод, используемых в питьевых целях, по степени опасности и влиянию на здоровье человека подразделяются на четыре класса опасности. Наиболее опасными (чрезвычайно опасные вещества) являются микрокомпоненты первого класса опасности, затем идут опасные вещества (2 класс), умеренно опасные вещества (3 класс) и наконец, четвертый класс опасности это малоопасные вещества. Не смотря на то, что в исследуемых водах наблюдается преобладающее присутствие элементов второго класса опасности, их содержание находится на уровне допустимых норм и соответствует пределу биологически значимых концентраций.

Содержание в исследуемых водах токсичного микрокомпонента 1 класса опасности, бериллия составляет менее 0,0001 мг/л и не превышает

норм предельно допустимых концентраций. Кроме того, содержание мышьяка в пресных водах колеблется в интервале значений от 0,009 до 0,04 мг/л и свидетельствует о его достаточно высоком содержании, что практически во всех родниках находится на уровне ПДК и выше, а в ряде случаев достигает 4 ПДК. В солоноватых водах родников Сенек (нижний), Хурегечи (нижний и верхний), Коош-Терек концентрация мышьяка также выходит за верхнюю границу ПДК, равной 0,01 мг/л.

Элементы второго класса опасности, такие как никель, мышьяк, бор, барий, литий, стронций молибден, фтор, кремний и др. содержатся в исследуемых водах в различных количествах. Так например, содержание кобальта в подземных водах менее 0,001 мг/л, что не превышает значения норм ПДК для питьевых вод. Однако наблюдаются некоторые исключения. Так, концентрация селена, в пресных подземных водах изменяется от 0,0062 до 0,097 мг/л. То есть, его содержание в большинстве родников приближено или находится на уровне границы ПДК, равной 0,01 мг/л. В водах восьми родников (Шивилиг, Чолдак Чыраа-Булак, Хаттыг-Чазы, Адарган, Алаш, Устуун-Доргун, Сенек верхний (выход 4), Бел) содержание селена сосредоточено в области значений от 0,016 до 0,028 мг/л и в некоторых случаях достигает 0,052 и 0,097 мг/л. В солоноватых водах отмечается аналогичная ситуация, концентрация селена в которых находится на уровне ПДК или превышает его, при его колебании в пределах от 0,0093 до 0,061 мг/л.

Концентрация лития в пресных водах колеблется в широком интервале значений, изменяясь в пределах от 0,0048 до 0,1 мг/л. Однако, в водах шести родников (Талдыг-Чарык, Сенек верхний (выход 4 и 2), Устуун-Доргун, Ак-Холь, Час-Адыр (горячий)) его содержание выходит за пределы границы ПДК, составляющее 0,03 мг/л. В солоноватых водах превышение ПДК лития наблюдается в пяти родниках, при колебании его содержания от 0,059 до 0,706 мг/л.

Фтор характеризуется наименьшим числом превышений ПДК. Так в большей части пресных и солоноватых вод его содержание не превышает 1,5 мг/л. Выход за эту границу содержаний выявлено в родниках Устуун-Доргун, Шивилиг и Ак-Холь, изменяющееся в пределах от 1,81 до 2,56 мг/л.

Концентрация элементов третьего класса опасности, таких как медь, цинк, железо, бор и др. в пресных и солоноватых водах не превышают значений ПДК.

Из вышесказанного следует, что микрокомпонентный состав вод в большинстве случаев удовлетворяет требованиям санитарно-гигиенических норм. Исключением из этого являются воды ряда родников, в которых отмечается несколько повышенное содержание селена, лития, фтора, относящихся ко второму классу опасности и мышьяка, который относится к первому классу опасности. Как показывают данные таблицы 17, такая тенденция характерна для пресных и солоноватых вод.

Таблица 17- Средний химический состав родников Центральной и Западной Тывы

Компонент	Единицы измерения	Класс опасности	ПДК [26]	ПДК [27]	ПДК [28]	Содержание	
						Пресные воды	Солоноватые воды
pH	единицы pH	-	-	6,5-9,5	6-9	6,1-7,7	6,4-7,3
HCO ₃ ⁻	мг/л	-	-	-	-	30-380	104-1161
SO ₄ ²⁻	- " -	-	500	250	500	1,0-238,9	234-499
Cl ⁻	- " -	-	350	250	350	0,8-88,7	11,2-1775,0
NO ₃	- " -	-	45	50	45	0,95-34,7	0,42-16,57
Ca ²⁺	- " -	-	-	-	-	5-97	95-520
Mg ²⁺	- " -	-	50	-	-	1,2-48,8	10,9-256,0
Na ⁺	- " -	-	200	200	-	0,94-115	66-995
K ⁺	- " -	-	-	-	-	0,36-4,10	2,70-17,90
ОЖ	мг-экв./л	-	-	-	7-10	0,4-6,7	6,1-31,0
Общая минерализация	мг/л	-	-	-	1000-1500	131-741	1454-3675
As	- " -	1	0,01	0,01	-	0,008-0,044	0,010-0,049
Be	- " -	1	0,0002	-	-	<0,0001	
F	- " -	2	-	1,5	-	0,10-2,56	0,10-0,52
Ni	- " -	2	0,02	0,02	-	<0,001-0,011	
Pb	- " -	2	0,01	0,01	-	<0,001-0,002	
Te	- " -	2	0,01	-	-	0,0010-0,0076	0,0024-0,024
W	- " -	2	0,05	-	-	<0,05	
Cd	- " -	2	0,001	0,005	-	<0,0001	
Bi	- " -	2	0,1	-	-	<0,05	
Ag	- " -	2	0,05	-	-	<0,005	
Sb	- " -	2	0,005	0,005	-	<0,005	
Co	- " -	2	0,1	-	-	<0,001	
Se	- " -	2	0,01	0,01	-	0,0062-0,097	0,0093-0,061
Li	- " -	2	0,03	-	-	0,0048-0,1	0,015-0,7

Продолжение таблицы 17

Mo	- " -	2	0,25	-	-	0,0011-0,085	0,0021-0,015
Sr	- " -	2	7	-	-	0,039-2,409	0,188-5,8
Si	- " -	2	10	-	-	1,9-9,9	2,3-8,4
Cr	- " -	3	0,05	0,05	-	<0,001	
V	- " -	3	0,1	-	-	<0,001	
Cu	- " -	3	1	2	-	<0,001	
Mn	- " -	3	0,1	0,05	-	0,0030-0,023	0,0027-0,017
Zn	- " -	3	1	-	-	0,010-0,2	0,013-0,046
Fe	- " -	3	0,3	0,2	-	0,020-0,122	0,0025-0,095
B	- " -	3	0,5	1	-	0,018-0,427	0,033-0,506
Al	- " -	3	0,2	0,2	-	0,027-0,090	0,038-0,124

Таким образом, родники Тывы имеют высокое природное качество, исходя из анализа данных по содержанию в них макро- и микрокомпонентов, органолептических и физических свойств. Состав и свойства пресных вод родников в большинстве случаев соответствует гигиеническим нормам [28], установленным для подземных вод нецентрализованного водопользования. В этой связи воды исследованных родников Тывы могут использоваться в питьевых, культурно-бытовых и рекреационных целях. Солоноватые воды возможно использовать для питья, но в ограниченном количестве. Их применение целесообразно в лечебных целях после проведения соответствующих исследований их состава и подтверждения бальнеологических свойств.

7 Физиологическая полноценность родников

Одним из немаловажных критериев оценки качества питьевой воды является оценка её физиологической полноценности. Вода, используемая в питьевых целях должна быть полезной для организма человека, обеспечивать профилактику, устраняя дефицит биологически необходимых элементов. Для этого все главные показатели качества воды по макро - и микрокомпонентному составу должны находиться на определенном уровне, т.е. не только максимально допустимом, то также минимально необходимом уровне содержания их в питьевой воде и именно такая вода называется физиологически полноценной. Критерий физиологической полноценности – это своего рода «диапазон полезности».

Нормативы по физиологической полноценности вод по ряду показателей отражены в СанПиНе 2.1.4.1116 – 02 [29] и представлены в таблице 18. Данные нормативы отличаются более жёстким характером, чем таковые для питьевых вод источников централизованного водоснабжения, потому как уточняется не только верхний предел содержаний, но и нижний, то есть минимальная концентрация содержания в питьевых водах важных для организма человека компонентов. Это способствует тому, что питьевая

вода содержит в себе элементы в тех концентрациях, которые способны восполнить организм человека необходимыми микро- и макрокомпонентами и поддержать их баланс на оптимальном уровне. При этом, следует заметить, что установленная санитарными правилами норма по физиологической полноценности вод распространяется на воды с минерализацией до 1000 мг/л.

Таблица 18 - Содержание физиологически значимых компонентов в пресных водах родников Центральной и Западной Тывы

Компонент	Единицы измерения	Норматив физиологической полноценности воды [29]	Содержание, мг/л
Общая минерализация	мг/л	100-1000	45-741
Общая жесткость	⁰ Ж	1,5-7,0	0,4-6,7
Кальций (Ca ²⁺)	мг/л	25-130	5,0-76,5
Магний (Mg ²⁺)	- " -	5-65	1,2-48,8
Калий (K ⁺)	- " -	-	0,36-2,60
Бикарбонаты (HCO ₃ ⁻)	- " -	30-400	30-380
Фторид-ион (F ⁻)	- " -	0,5-1,5	<0,1-1,5
Йодит-ион (I ⁻)	мкг/л	10-125	-

Сопоставительный анализ данных состава исследуемых пресных родников с нормами физиологической полноценности показывает, что исследуемые подземные воды соответствуют нормам и могут быть отнесены к физиологически полноценным. Единичное исключение составляют воды родника Шивилиг, где нижняя граница концентраций по показателям общей минерализации и жёсткости, кальция, магния, фтора несколько ниже установленных нормативов.

7.1 Эссенциальные элементы в родниках

Современная научная медицина, начиная с XX века, обратила внимание на те болезни, происхождение которых было связано с недостаточностью поступления и содержания в организме определённых элементов. В настоящее время учение о микроэлементах - это один из наиболее активно развивающихся разделов медицины, многие стороны

которого глубоко разработаны и приносят реальную пользу практическому здравоохранению [30]. Для обозначения всех патологических процессов, вызванных дефицитом, избытком или дисбалансом макро- и микрокомпонентов, введено понятие микроэлементоза [31].

Согласно [30], элементы, обнаруженные в организме человека, делят на три группы:

- эссенциальные (жизненно необходимые) - Fe, Zn, Cu, Mn, Se, Mo, Co, Cr;
- условно эссенциальные (условно необходимые) - As, Br, B, F, Li, Ni, Si, V;
- малоизученные с неизвестной ролью - Ra, Sn, Th, U и др.

Каждый микроэлемент в организме человека выполняет определённые функции и тем самым способствует предотвращению различных заболеваний. Так, например, главной функцией железа в организме человека является перенос кислорода и участие в окислительных процессах, процессах выделения энергии [31]. Немаловажную роль выполняет цинк, который требуется для синтеза белков, в т.ч. коллагена и формирования костей, а для поддержания нормальной структуры костей, хрящей, сухожилий, эластичности стенок кровеносных сосудов, легочных альвеол, кожи требуется присутствие в организме человека меди. Марганец, молибден, кобальт и хром участвуют в многочисленных ферментативных процессах [31].

Чаще всего на практике используется верхняя граница содержаний, превышение которых влияет на организм человека неблагоприятно. Но наряду с этим в практику входит оценка нижнего уровня, при котором не обеспечивается организм человека необходимым количеством элементов. Такой уровень называется нижний предел биологически значимой концентрации (далее НПБЗК) компонента [32]. В первую очередь это актуально для эссенциальных элементов. В связи с этим, подземные воды Тывы рассмотрены с точки зрения наличия в них таких концентраций микроэлементов, при которых в организме человека не возникает микроэлементоза.

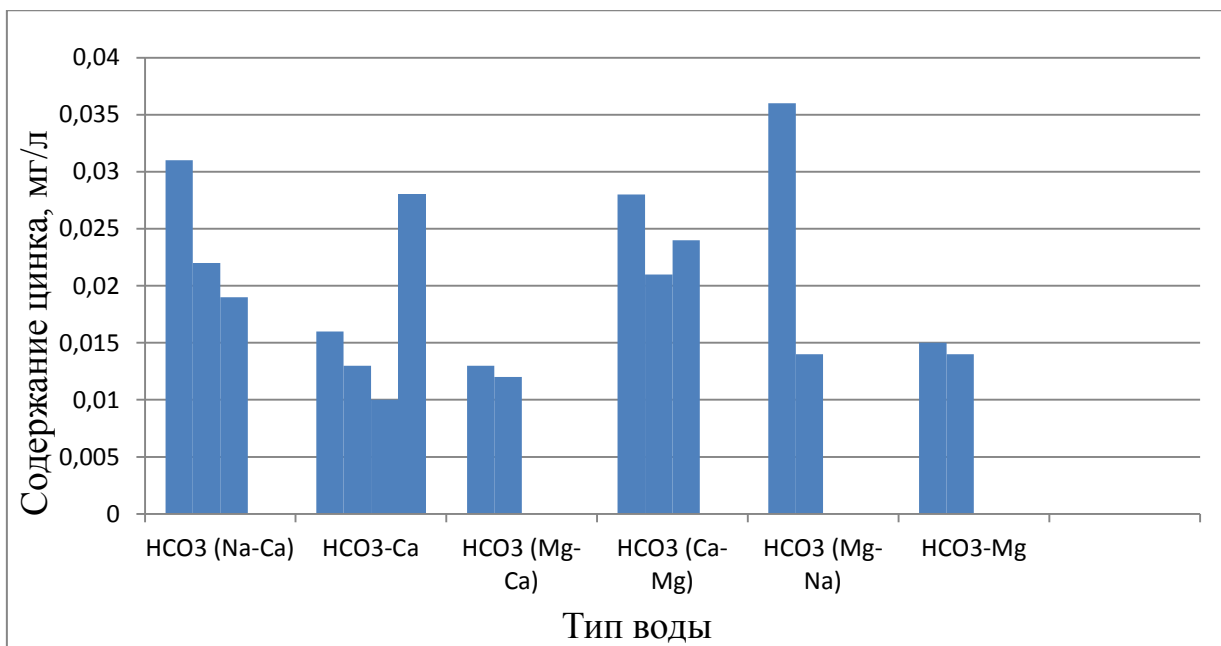
Сопоставительный анализ данных по содержанию в исследуемых водах источников ряда компонентов с их НПБЗК показал некоторое их неоднозначное положение. Содержание большинства представленных в таблице 19 эссенциальных элементов не достигает значений НПБЗК. Так, например, концентрация кобальта в исследуемых водах менее 0,001 мг/л при НПБЗК 0,0075 мг/л, как железо и марганец, количество которых также находятся на более низком уровне, чем установленный для них НПБЗК. В тоже время количество селена и молибдена в большинстве родников находится в достаточных с позиции биологической значимости количествах.

На ряду с этим установлено, что химический тип вод не влияет на распространенность микрокомпонентов в водах. Так, в гидрокарбонатном натриево-кальциевом типе вод концентрация цинка наблюдается как в сотых долях мг/л, изменяясь от 0,019 до 0,031 мг/л, так и десятых, достигая 0,2 мг/л, что представлено на рисунке 55. Максимальные содержания цинка отмечены в гидрокарбонатном натриево-кальциевом и в гидрокарбонатном магниевом-натриевом типе вод при их средних концентрациях в пределах от 0,014 до 0,022 мг/л.

Таблица 19- Распространённость эссенциальных элементов в родниках Центральной и Западной Тывы

Название источника	Содержание, мг/л								Тип воды
	Zn	Mo	Se	Fe	Mn	Co	Cr	Cu	
НПБЗК [32]	0,325	0,0062	0,0037	0,375	0,0925	0,0075	0,00375	0,0875	
Пресные воды									
Шивилиг	0,031	0,012	0,016	0,061	0,018	<0,001	<0,001	<0,001	HCO ₃ (Na-Ca)
Ала Тайга, нижн.	0,016	0,0017	0,011	0,053	0,011		<0,001		HCO ₃ -Ca
Аспаты	0,013	0,0023	0,008	0,122	0,0084		<0,001		HCO ₃ (Mg-Ca)
Бел	0,013	0,0017	0,097	0,057	0,011		<0,001		HCO ₃ -Ca
Терек-Доргун	0,028	0,0019	0,011	0,051	0,023		0,0028		HCO ₃ (Ca-Mg)
Талдыг-Ой	0,01	0,085	0,013	0,033	0,01		<0,001		HCO ₃ -Ca
Час-Адыр (основной)	0,028	0,0013	0,009	0,039	0,013		<0,001		HCO ₃ -Ca
Алаш	0,021	0,0046	0,022	0,026	0,012		0,0042		HCO ₃ (Ca-Mg)
Устуун-Доргун	0,022	0,011	0,028	0,078	0,0094		<0,001		HCO ₃ (Na-Ca)
Талдык-Чарык	0,019	0,004	0,012	0,052	0,01		<0,001		HCO ₃ (Na-Ca)
Сулуг-Ой	0,245	0,0027	0,011	0,023	0,011		<0,001		HCO ₃ (Na-Ca)
Час-Адыр (горячий)	0,016	0,0049	0,009	0,023	0,012		<0,001		Cl-HCO ₃ (Na-Ca)
ЧолдакЧыраа-Булак	0,012	0,0028	0,016	0,027	0,0098		<0,001		HCO ₃ (Mg-Ca)
Хатыг-Чазы	0,028	0,013	0,016	0,032	0,023		<0,001		HCO ₃ (Na-Mg)
Ак-Холь	0,026	0,0096	0,013	0,061	0,011		<0,001		Cl-HCO ₃ -Na
Адарган	0,013	0,0036	0,016	0,02	0,011	<0,001	HCO ₃ -SO ₄ (Mg-Ca)		
Дыттыг-Дергун	0,024	0,0011	0,011	0,071	0,011	<0,001	HCO ₃ (Ca-Mg)		
Сенек верх. (выход 2)	0,036	0,0063	0,006	0,039	0,013	<0,001	HCO ₃ (Mg-Na)		
Сенек верх. (выход 4)	0,014	0,008	0,052	0,03	0,003	<0,001	HCO ₃ (Mg-Na)		
Солоноватые воды									
Уттуг-Дуруг	0,015	0,0061	0,018	0,0061	0,014	<0,001	<0,001	<0,001	HCO ₃ -SO ₄ (Mg)
Улаатай (горный)	0,015	0,0021	0,009	0,0025	0,017				HCO ₃ -Mg
Улаатай (речной)	0,014	0,0022	0,009	0,033	0,017				HCO ₃ -Mg
Сенек, нижний	0,046	0,015	0,026	0,401	0,732				SO ₄ -Cl (Mg-Na)
Коош-Терек	0,03	0,0072	0,061	0,095	0,0096				Cl-Na
Хурегечи, верхн.	0,019	0,0022	0,044	0,045	0,0055				Cl-Na
Хурегечи, нижн.	0,013	0,0082	0,040	0,041	0,0027				SO ₄ -Cl (Ca-Na)

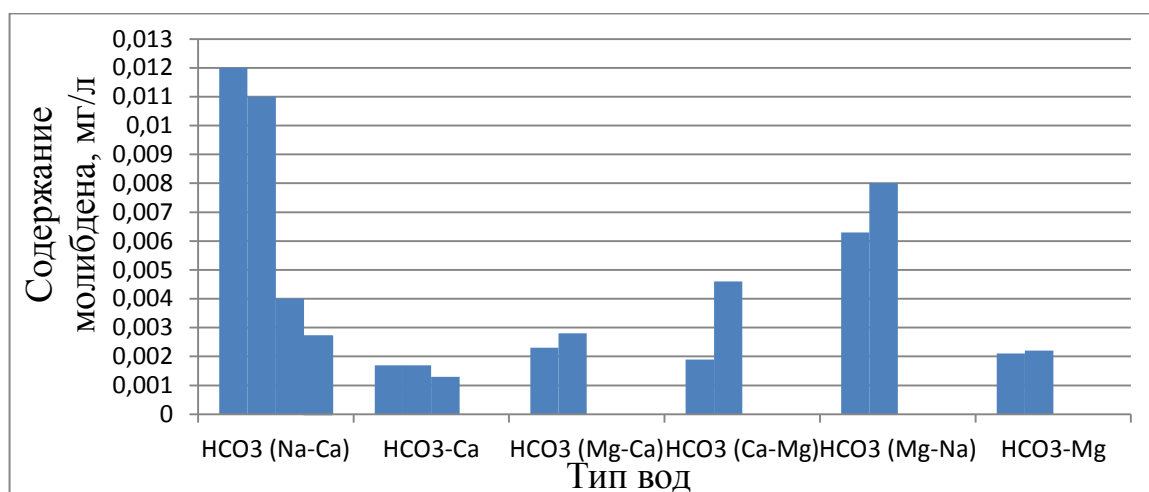
Примечание: М – минерализация вод; жёлтым цветом выделены содержания компонента, достигающие НПБЗК; оранжевым цветом выделены содержания компонента, не достигающие НПБЗК; синим цветом, выделены содержания компонента превышающие ПДК



*Максимальное содержание цинка не отображено на рисунке для большей корректности построения

Рисунок 55- Обогащенность вод Центральной и Западной Тывы цинком в зависимости от химического типа вод

Молибден в количестве до 0,004 мг/л характерно для всех типов вод. Его наибольшие концентрации, как видно из рисунка 56, отмечаются в трёх типах вод (гидрокарбонатный натриево-кальциевый, гидрокарбонатный кальциево-магниевый и гидрокарбонатный магниевый-натриевый), что свидетельствует об отсутствии связи между уровнем содержания компонента и химического типа содержащих его вод.



*Максимальное содержание молибдена не отображено на рисунке для большей корректности построения

Рисунок 56-Обогащенность вод Центральной и Западной Тывы молибденом в зависимости от химического типа вод

Как показывают данные рисунка 57, преимущественно концентрация селена находится в пределах до 0,03 мг/л и характерна для всех типов вод. Максимальные его

содержания отмечены в гидрокарбонатно-кальциевой и гидрокарбонатной магниевой натриевой водах. Это свидетельствует о том, что тип воды не влияет на количественное содержание данного элемента.

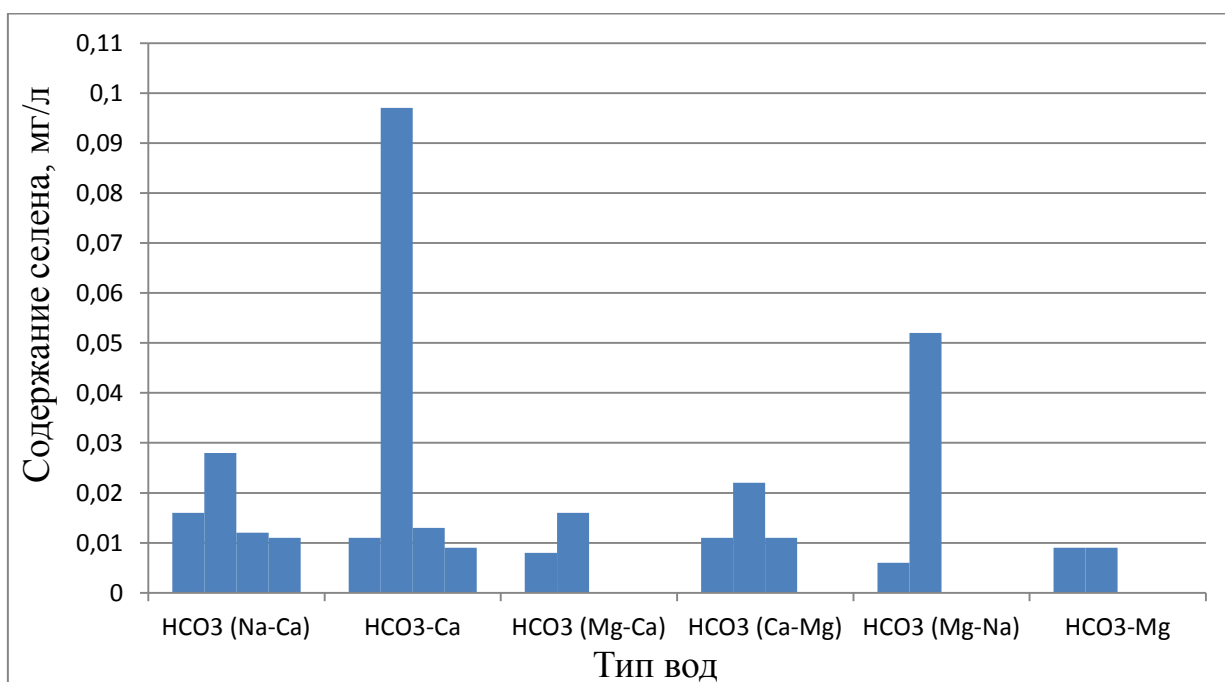


Рисунок 57-Обогащенность вод Центральной и Западной Тывы селеном в зависимости от химического типа вод

Аналогичная ситуация прослеживается у железа и марганца. Из рисунков 58 и 59 чётко видно, что для разных типов вод характерны как наименьшие, так и максимальные концентрации этих компонентов. Например, наибольшие содержания железа наблюдаются в гидрокарбонатном магниевом-кальциевом и гидрокарбонатном натриево-кальциевом типах вод.

Как было отмечено ранее, к условно эссенциальным элементам относят согласно [31] мышьяк, бром, бор, фтор, литий, никель, ванадий и кремний. Как видно из данных таблицы 20, содержания в водах кремния и большей части бора, фтора, мышьяка и в единичных случаях лития находятся на оптимальном уровне, т. е. выше НПБЗК и не превышают ПДК, что подтверждается данными рисунка 60.

Как видно из рисунка 61, обогащенность вод мышьяком, бором, фтором и литием не зависит от химического типа вод. Максимальные их концентрации встречены в разных типах вод.

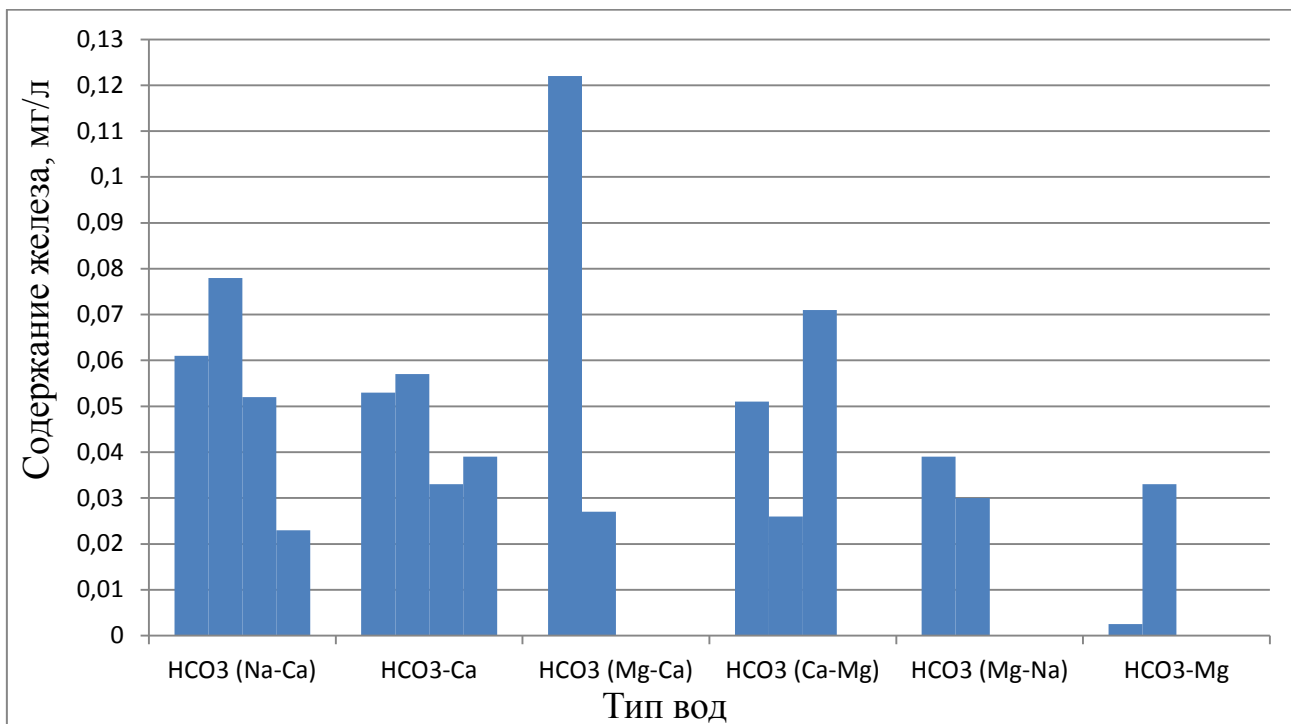


Рисунок 58-Обогащенность вод Центральной и Западной Тывы железом в зависимости от химического типа вод

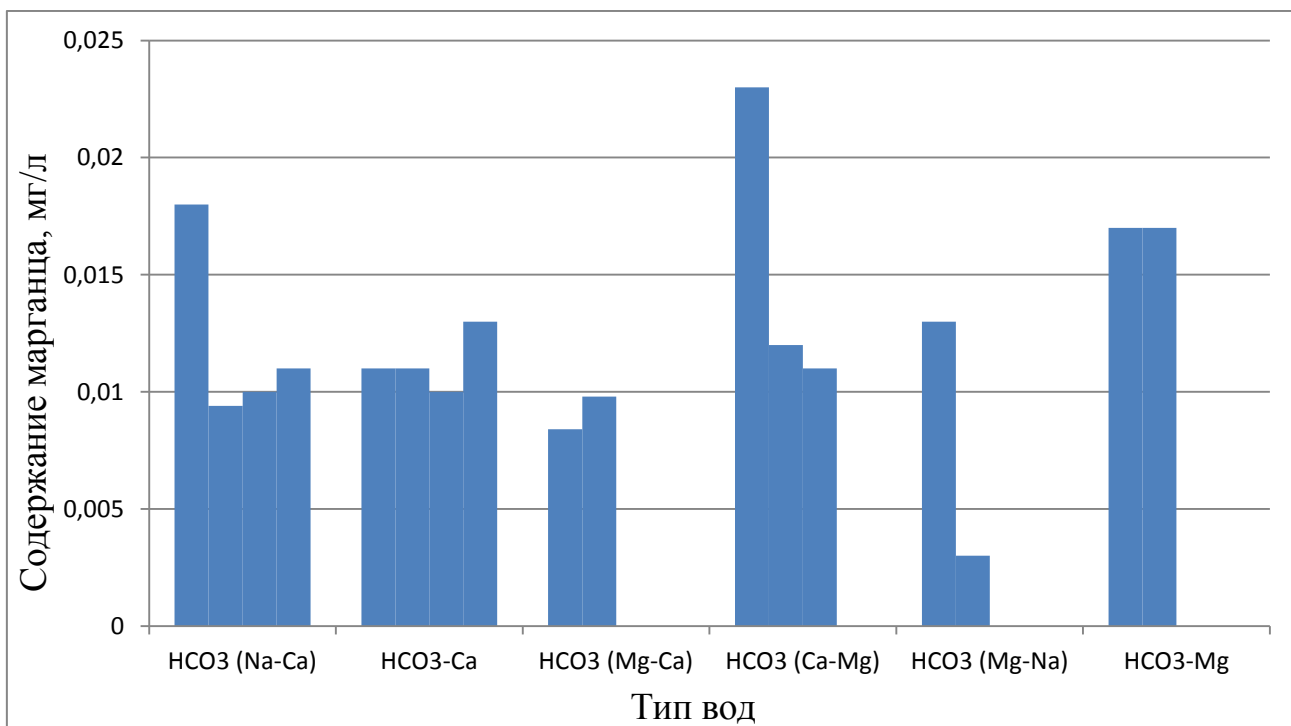


Рисунок 59-Обогащенность вод Центральной и Западной Тывы марганцем в зависимости от химического типа вод

Таблица 20- Распространённость условно эссенциальных элементов в родниках Центральной и Западной Тывы

№, п/п	Название источника	Содержание, мг/л							Тип воды
		As	B	F	Li	Ni	Si	V	
	НПБЗК [33]	0,0012	0,0325	0,05	0,025	0,0075	0,25	0,025	
Пресные воды									
1	Шивилиг	0,009	0,023	2,33	0,027	<0,001	9,939	<0,001	HCO ₃ (Na-Ca)
2	Ала Тайга, нижн.	0,021	0,019	0,19	0,0079	<0,001	1,906		HCO ₃ -Ca
3	Аспаты	0,02	0,05	1,81	0,041	<0,001	9,035		HCO ₃ (Mg-Ca)
4	Бел	0,009	0,018	0,1	0,0048	<0,001	2,036		HCO ₃ -Ca
5	Терек-Доргун	0,012	0,047	0,15	0,02	<0,001	4,804		HCO ₃ (Ca-Mg)
6	Талдыг-Ой	0,011	0,058	0,1	0,0066	0,0014	4,189		HCO ₃ -Ca
7	Час-Адыр (основной)	0,012	0,023	0,12	0,0077	<0,001	6,259		HCO ₃ -Ca
8	Алаш	0,011	0,021	0,12	0,0096	0,0015	3,984		HCO ₃ (Ca-Mg)
9	Устуун-Доргун	0,02	0,073	0,18	0,027	0,0028	6,863		HCO ₃ (Na-Ca)
10	Талдык-Чарык	0,013	0,039	0,28	0,036	0,0014	6,525		HCO ₃ (Na-Ca)
11	Сулуг-Ой	0,043	0,07	1,28	0,112	<0,001	6,194		HCO ₃ (Na-Ca)
12	Час-Адыр (горячий)	0,014	0,048	0,29	0,0086	<0,001	5,406		Cl-HCO ₃ (Na-Ca)
13	ЧолдакЧыраа-Булак	0,013	0,059	0,56	0,015	<0,001	6,869		HCO ₃ (Mg-Ca)
14	Хатыг-Чазы	0,022	0,053	0,32	0,032	0,0015	5,806		HCO ₃ (Na-Mg)
15	Ак-Холь	0,01	0,035	0,15	0,027	<0,001	4,702		Cl-HCO ₃ -Na
16	Адарган	0,008	0,05	0,2	0,0079	0,0035	5,299		HCO ₃ -SO ₄ (Mg-Ca)
17	Дыттыг-Дергун	0,017	0,427	2,56	0,078	0,0028	4,504		HCO ₃ (Ca-Mg)
18	Сенек верх. (выход 2)	0,044	0,164	0,42	0,045	<0,001	5,26		HCO ₃ (Mg-Na)
19	Сенек верх. (выход 4)	0,01	0,116	0,42	0,038	0,0019	4,716		HCO ₃ (Mg-Na)
Солоноватые воды									
20	Уттуг-Дуруг	0,015	0,16	0,24	0,063	0,011	3,91	<0,001	HCO ₃ -SO ₄ (Mg)
21	Улаатай (горный)	0,01	0,041	0,32	0,068	<0,001	4,007		HCO ₃ -Mg
22	Улаатай (речной)	0,011	0,033	0,21	0,059	<0,001	4,091		HCO ₃ -Mg
23	Коош-Терек	0,046	0,506	0,19	0,438	<0,001	4,745		SO ₄ -Cl (Mg-Na)
24	Хурегечи, верхн.	0,049	0,078	0,52	0,015	<0,001	2,773		Cl-Na
25	Хурегечи, нижн.	0,046	0,14	0,1	0,028	<0,001	2,383		Cl-Na
26	Сенек (нижний)	0,065	3,103	0,24	0,706	<0,001	8,475		SO ₄ -Cl (Ca-Na)

Примечание: М – минерализация вод; жёлтым цветом выделены содержания компонента, достигающие НПБЗК; оранжевым цветом выделены содержания компонента, не достигающие НПБЗК; синим цветом выделены содержания компонента, превышающие ПДК

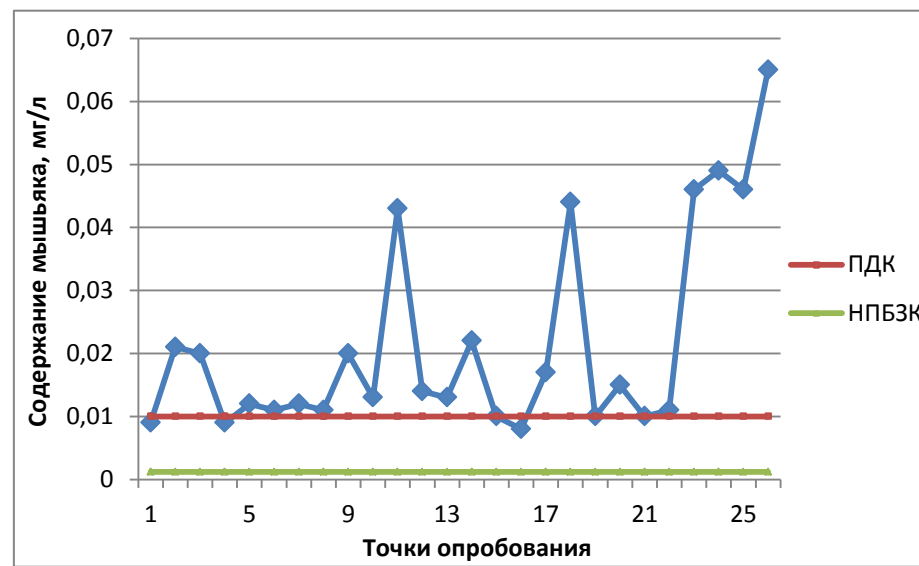
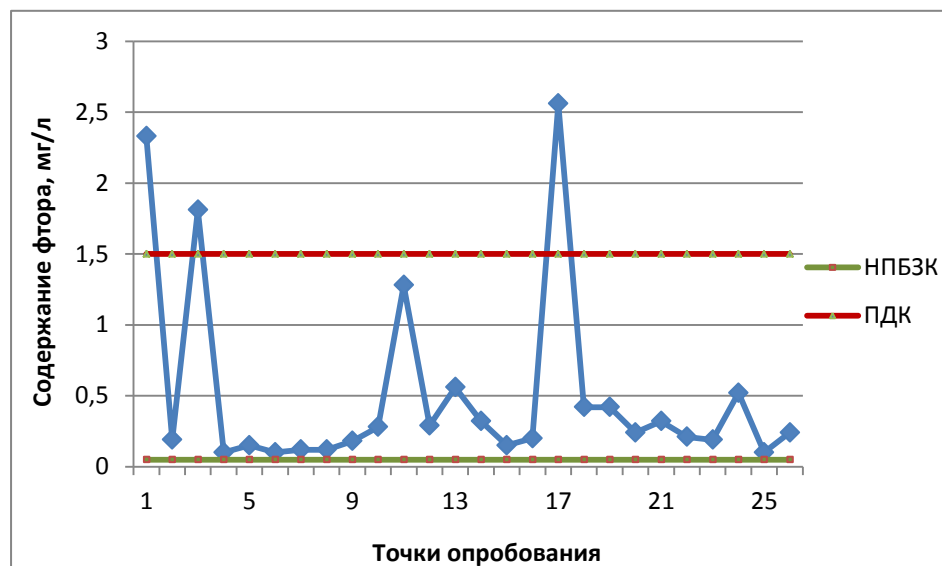
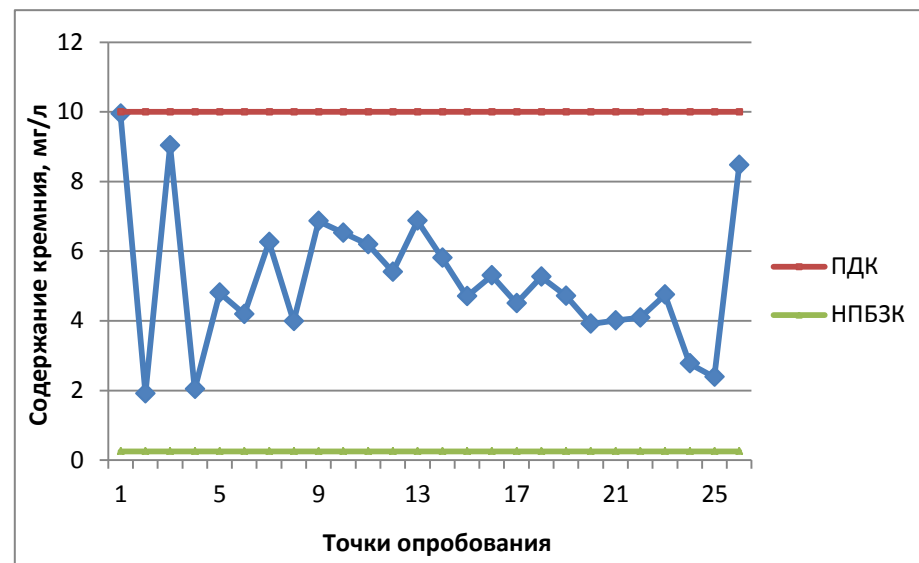
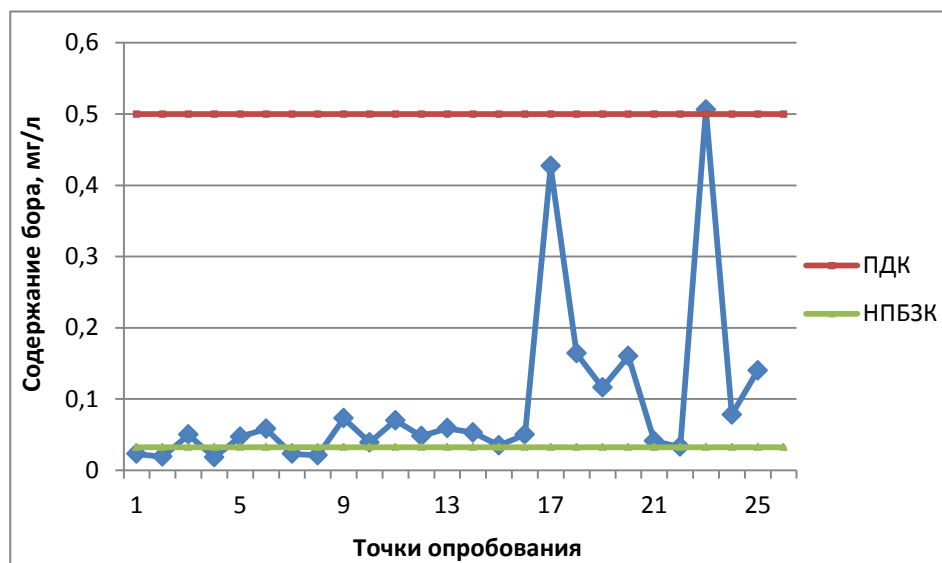
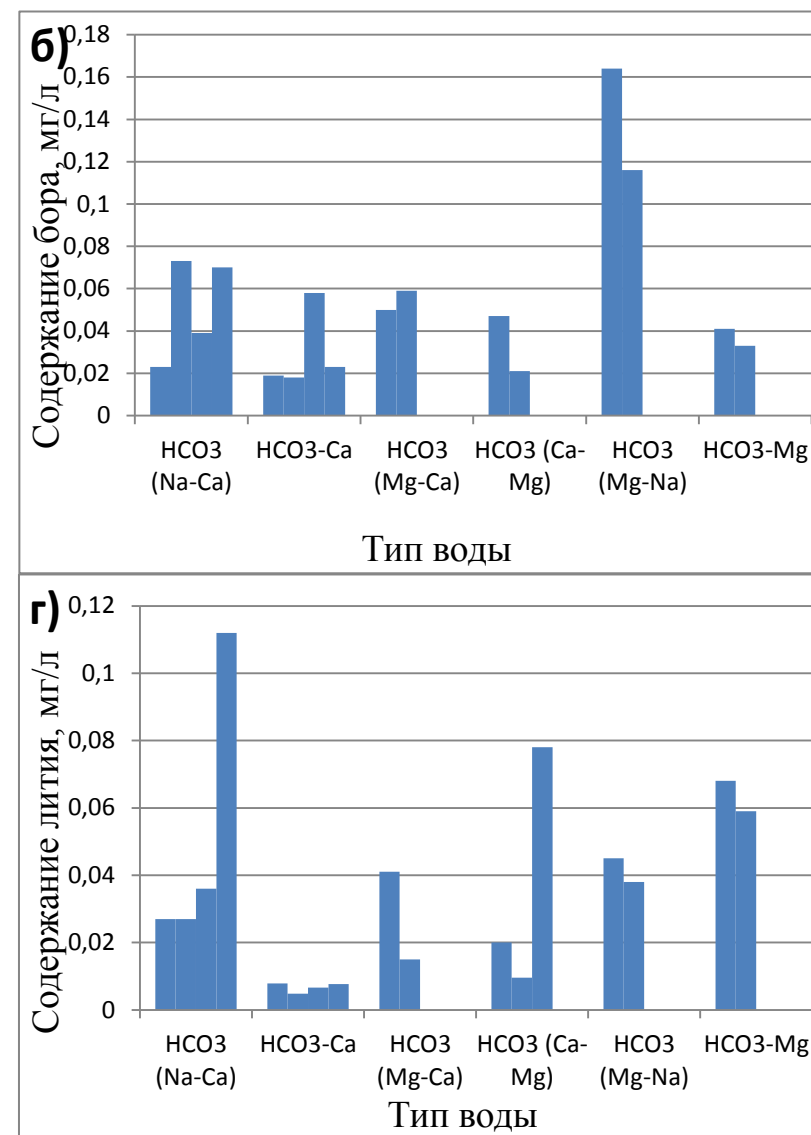
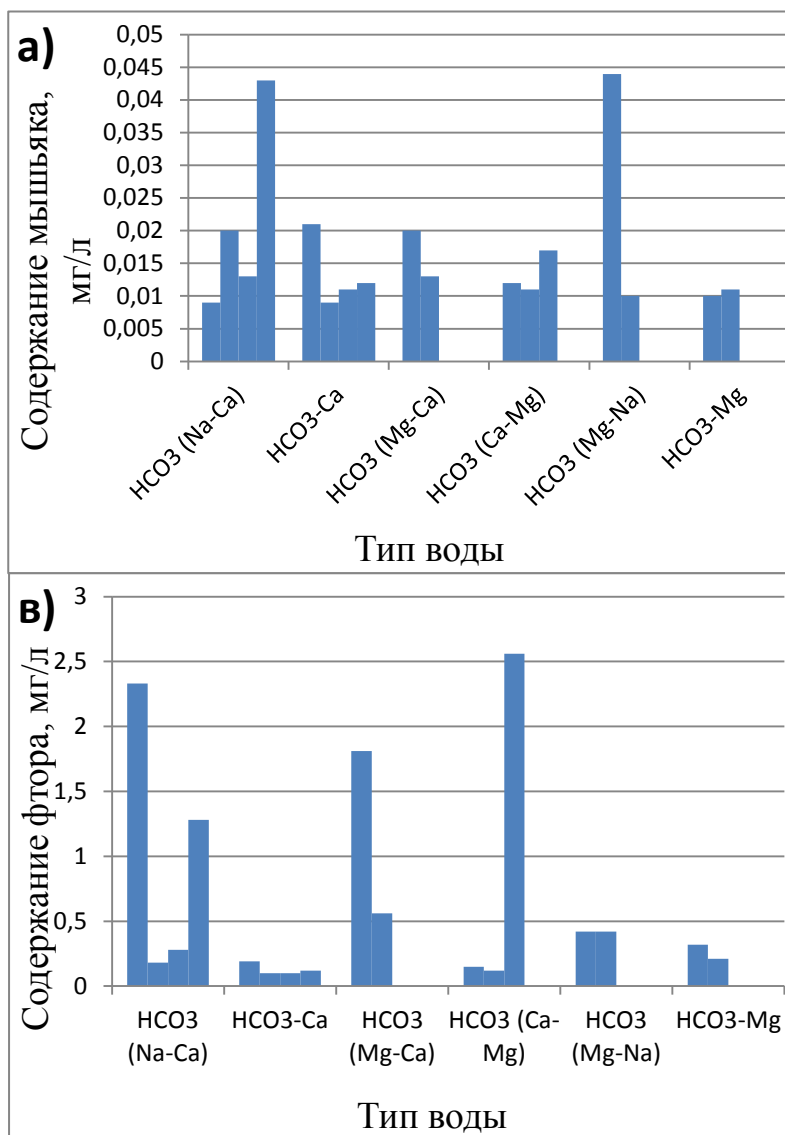


Рисунок 60 - Уровень содержания бора, кремния, фтора и мышьяка в подземных водах Центральной и Западной Тывы относительно норм ПДК и НПБЗК



*Максимальное содержание бора не отображено на рисунке для большей корректности построения

Рисунок 61-Обогащенность вод Центральной и Западной Тывы а) мышьяком б) бором в) фтором г) литием в зависимости от химического типа вод

8 Перспективы использования родников Центральной и Западной Тывы в лечебных целях

На территории Республики Тыва насчитывается более 100 родников, имеющих различный химический состав и степень минерализации, которые, по мнению ряда исследователей, относятся к минеральным [33] и оказывают лечебное действие на организм человека.

Существует несколько определений понятия минеральных вод. Так, согласно Большой Советской энциклопедии, минеральные воды характеризуются повышенным содержанием биологически активных минеральных (реже органических) компонентов и (или) обладающие специфическими физико-химическими свойствами (химический состав, температура, радиоактивность и др.), благодаря которым они оказывают на организм человека лечебное действие.

К минеральным водам согласно ГОСТ 13273-88, относят природные воды, оказывающие на организм человека лечебное действие, обусловленное основным ионно-солевым и газовым составом, повышенным содержанием биологически активных компонентов и специфическими свойствами (радиоактивность, температура, реакция воды) [34].

Действующий в настоящее время нормативный документ ГОСТ Р54316-2011 «Воды минеральные природные питьевые» определяет минеральные природные питьевые воды как подземные воды, добытые из водоносных горизонтов или водоносных комплексов, защищенных от антропогенного воздействия, сохраняющие естественный химический состав и относящиеся к пищевым продуктам, а при наличии повышенного содержания отдельных биологически активных компонентов (бора, брома, мышьяка, железа суммарного, йода, кремния, органических веществ, свободной двуокиси углерода) или повышенной минерализации оказывающие лечебно-профилактическое действие [35].

Для выявления специфических свойств подземных вод родников Тывы и отнесения их к минеральным, проведена оценка химического состава вод и их физических характеристик по критериям отнесения вод к минеральным согласно требований нормативных документов ГОСТ Р 54316-2011 и ГОСТ 13273-88 (использован как информационный материал). Обобщенная характеристика гидрохимического типа исследованных вод приведена в таблице 21. Сопоставительный анализ этих данных с нормативными для установленных типов минеральных вод позволил выделить некоторые группы родников, солоноватые воды которых имеют аналогичный состав и минерализацию и могут быть отнесены к этим типам минеральных вод.

Воды источников Сенек (нижний) с минерализацией 2,6 г/л по анионному составу имеют преимущественно хлоридный тип, а по катионному - натриевый тип. Исходя из особенностей состава вод указанных родников и его оценка по критериям отнесения вод к минеральным согласно ГОСТ Р 54316-2011 их можно отнести к XVII группе минеральных вод Анапского типа. Минеральную воду этой группы, согласно [35] медицинских показаний к применению, можно использовать при болезнях пищевода, хронического гастрита, язвенной болезни желудка, болезни печени, кишечника, поджелудочной железы, обмена веществ, мочевыводящих путей, крови, а также при нарушениях органов пищеварения после оперативных вмешательств по поводу язвенной болезни желудка.

Воды родника Хурегечи (нижний), имеющего сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый тип, можно отнести к XXI группе минеральных вод Ергинского типа. Этот тип минеральных вод можно использовать при заболеваниях, указанных выше, исключая болезни мочевыводящих путей. Однако стоит отметить, что минерализация исследуемых вод (3,6 г/л) несколько ниже установленной в ГОСТ Р 54316-2011 для вод этого типа при незначительном превышении уровня кальция от нормативно установленного.

Воды источников Хурегечи (верхний), Коош-Терек с минерализацией от 3 до 5 г/л имеют хлоридно-натриевый тип. Исходя из особенностей состава воды данной группы, родники можно отнести к XXX группе минеральных вод

Нальчиковского типа. Воды этого типа имеют большой перечень медицинских показаний к применению, а именно её можно использовать при хроническом гастрите, болезни печени, кишечника, поджелудочной железы, обмена веществ, мочевыводящих путей, крови, а также при нарушениях органов пищеварения после оперативных вмешательств по поводу язвенной болезни желудка.

Воды родников Улаатай (речной и горный), химический состав которых сульфатно-гидрокарбонатный магниевый, можно отнести к XXXIII группе минеральных вод Ундоровского типа, которые применяются при хроническом гастрите, болезнях печени, поджелудочной железы, обмена веществ и мочевыводящих путей. Однако стоит отметить, что концентрация кальция несколько ниже (почти в 3 раза), а магния практически в 2 раза выше от установленной в ГОСТ Р 54316-2011 для вод этого типа.

Воды родника Утуг-Дуруг с минерализацией 1,4 г/л имеют по анионному составу гидрокарбонатно - сульфатный тип, а по катионному составу магниевый тип. Эти воды, исходя из своего химического состава, можно отнести к XXXII группе минеральных вод Марциального типа. Воды этого типа применяются при болезнях крови. При этом, наблюдается незначительное превышение установленных норм по гидрокарбонат- и магний- ионам, а кальций-ион несколько ниже от установленной для вод этого типа [35].

Таблица 21- Гидрохимический тип родников Центральной и Западной Тывы и их типизация по принадлежности к группе минеральных вод в соответствии с ГОСТ Р 54316-2011

Характеристика гидрохимического типа минеральной воды (ГОСТ Р 54316-2011)				Характеристика родников	
Минерализация, г/л	Основные ионы, мг-экв., %	Наименование представителя гидрохимического типа минеральной воды и её местонахождение	Наименование группы минеральной воды	Наименование родника	Формула химического состава
1-5	SO ₄ (40-75), Cl (20-45), (Na +K) 60-95	Анапский, Анапское м-е, Краснодарский край	XVII. Хлоридно-сульфатная натриевая	Сенек нижний	$M_{2,6} \frac{SO_4 64 Cl 32 HCO_3 4}{Na 72 Ca 24 Mg 3} pH 7,2$
5-8	Cl (40-65), SO ₄ (30-50), (Na +K) 35-60, Ca (20 –40)	Ергенинский, Ергенинское м-е, Волгоградская область	XXI. Сульфатно-хлоридная натриево-кальциевая	Хурегечи (нижний)	$M_{3,6} \frac{Cl 50 SO_4 42 HCO_3 8}{Na 47 Ca 45 Mg 9} pH 7,2$
3-5	Cl >80, (Na+K) >80	Нальчик, Нальчикское м-е, Кабардино-Балкарская Республика	XXX. Хлоридно-натриевый	Коош-Терек, Хурегечи (верхний)	$M_{3,5} \frac{Cl 85 SO_4 9 HCO_3 6}{Na 66 Ca 23 Mg 11} pH 6,4$
0,5-1,5	HCO ₃ (40-80), SO ₄ (20-50), Ca(60-85), Mg (20-40)	Ундоровский	XXXIII. Сульфатно-гидрокарбонатная магниевая-кальциевая	Улаатай (речной и горный)	$M_{1,9} \frac{HCO_3 69 SO_4 30 Cl 11}{Mg 76 Ca 22 Na 1 K 1} pH 7,3$
0,2-1,0	SO ₄ (60 – 70) HCO ₃ (20–30) Ca(30 – 45) Mg (30 – 45)	Марциальный, м-е «Марциальные воды», Республика Карелия	XXXII. Гидрокарбонатно-сульфатная магниевая-кальциевая (кальциево-магниевая)	Утуг-Дуруг	$M_{1,4} \frac{SO_4 50 HCO_3 46 Cl 3 NO_3 1}{Mg 63 Ca 23 Na 14 K 1} pH 7,2$

Жёлтым цветом отмечены показатели, содержание которых несколько отличается от нормативных требований для минеральных вод

В соответствии с требованиями общих технических условий к минеральным питьевым природным водам (ГОСТ Р 54316-2011) на ряду с нормами по общему химическому составу вод устанавливаются таковые для элементов, относящихся к токсичным, такие как барий, кадмий, медь, мышьяк, селен, свинец и др. Содержание этих элементов не должно превышать норм указанных в таблице 22. Сопоставительный анализ данных по содержанию в родниках Центральной и Западной Тывы нормируемых элементов с допустимыми уровнями их содержаний показал, что содержание бария, кадмия, меди, мышьяка, никеля, нитратов, селена, свинца, стронция, сурьмы и хрома в исследуемых водах не превышают данные нормы для всех трех категорий минеральных вод.

Таблица 22- Нормы для содержания токсичных элементов в водах

Наименование токсичного элемента	Допустимые уровни содержания токсичных элементов, мг/дм ³ , не более		
	Столовые	Лечебно-столовые	Лечебные
Барий	1	5	5
Кадмий	0,003	0,003	0,003
Медь	1	1	1
Мышьяк	0,1	0,1	0,1
Никель	0,02	0,02	0,02
Нитраты	50	50	50
Селен	0,05	0,05	0,05
Свинец	0,01	0,01	0,01
Стронций	7	25	25
Сурьма	0,005	0,005	0,005
Хром	0,05	0,05	0,05

Отмеченная особенность микрокомпонентного состава исследуемых вод свидетельствует о их высоком природном качестве и указывает на возможность безвредного использования этих вод в питьевых целях.

На ряду с оценкой качества вод родников и их физиологической полноценности, важное значение имеют содержания некоторых микрокомпонентов, которые обладают особыми бальнеологическими свойствами. К таким элементам согласно ГОСТ Р 54316-2011 [35] относятся

железо (суммарное), мышьяк, бор, кремний, бром, йод. Содержание ряда из них в родниках Центральной и Западной Тывы представлено в таблице 23.

Таблица 23-Содержание бальнеологически активных микрокомпонентов в родниках Центральной и Западной Тывы

№	Название родника	Содержание, мг/л			
		As	B	Si	Fe
Норма (по ГОСТР 54316-2011)		>0,7	>60*	>50**	>10
Пресные воды					
1	Шивилиг	0,009	0,6	26,8	0,061
2	Аспаты	0,021	0,1	5,1	0,122
3	Устуун-Доргун	0,02	0,3	24,4	0,078
4	Ала Тайга	0,009	0,1	5,5	0,053
5	Бел	0,012	0,3	13,0	0,057
6	Терек-Доргун	0,011	0,3	11,3	0,051
7	Талдыг-Ой	0,012	0,1	16,9	0,033
8	Час-Адыр (основной)	0,011	0,1	10,8	0,039
9	Алаш	0,02	0,4	18,5	0,026
10	Талдык-Чарык	0,013	0,2	17,6	0,052
11	Час-Адыр (горячий)	0,043	0,4	16,7	0,023
12	ЧолдакЧыраа-Булак	0,014	0,3	14,6	0,027
13	Сулуг-Ой	0,013	0,3	18,5	0,023
14	Хатыг-Чазы	0,022	0,3	15,7	0,032
15	Адарган	0,01	0,2	12,7	0,02
16	Дыттыг-Дергун	0,008	0,3	14,3	0,071
17	Ак-Холь	0,017	12,9	12,2	0,061
18	Сенек, верхний (выход 4)	0,044	0,9	14,2	0,03
19	Сенек, верхний (выход 2)	0,01	0,6	12,7	0,039
Солоноватые воды					
1	Утуг-Дуруг	0,015	0,9	10,6	0,0061
2	Улаатай (горный)	0,01	0,2	10,8	0,0025
3	Улаатай (речной)	0,011	0,2	11,0	0,033
4	Коош-Терек	0,046	2,8	12,8	0,095
5	Хурегечи, верхний	0,049	0,4	7,5	0,045
6	Хурегечи, нижний	0,046	0,8	6,4	0,041
7	Сенек, нижний	0,065	17,4	22,9	0,401

*(по ортоборной кислоте); ** (по метакремниевой кислоте)

Из данной таблицы видно, что содержание в исследуемых водах мышьяка, бора, кремния и железа не достигают уровня бальнеологических норм устанавливаемых для минеральных вод. Исходя из этого, родниковые воды по указанным компонентам, вероятно, не обладают бальнеологическими свойствами, но могут оказывать на организм человека профилактическое воздействие. Этот факт не снижает, а усиливает высокое природное питьевое качество вод родников.

Заключение

Проведенные исследования подземных вод позволили изучить химический состав родников Центральной и Западной Тывы. Широкое распространение на исследуемой территории разнообразных типов вод принадлежит особенностям климата, рельефа, геологического строения и гидрогеологических условий.

В процессе изучения химического состава родников Центральной и Западной Тывы был исследован их макро- и микрокомпонентный состав. Показано, что минерализация вод колеблется от 44 до 3675 мг/л исходя из чего они относятся к двум классам - пресные и солоноватые. Первый класс вод с минерализацией от 44 до 741 мг/л имеет наибольшее распространение на исследуемой территории. Преобладающим химическим типом для пресных вод является гидрокарбонатный кальциево-магниевый (магниево-кальциевый), а для солоноватых вод отмечается сменяемость типов от гидрокарбонатно-сульфатных магниевых, сульфатно-хлоридных натриево-кальциевых к хлоридно-натриевым. По кислотнo-основным свойствам подземные воды имеют преимущественно нейтральный характер среды. По величине общей жесткости воды имеют разнообразный характер при колебании этого показателя от 1,5 до 31 °Ж.

Также в ходе данной работы выявлены некоторые основные закономерности формирования химического состава подземных вод. В пресных водах с увеличением минерализации возрастает степень жёсткости вод, содержание гидрокарбонат -, кальций- и магний ионов, а также отмечается некоторая неравномерная тенденция к возрастанию в водах содержания сульфат-иона. Данные взаимосвязи свидетельствуют о том, что пресные воды имеют стабильный химический состав, что нельзя сказать о солоноватых водах.

Микрокомпонентный состав подземных вод родников Центральной и Западной Тывы очень разнообразен. В исследуемых водах уровень содержаний изученных микрокомпонентов различен и варьирует в широких

пределах. Прослеживается некоторый рост уровня содержаний мышьяка, лития, алюминия с ростом минерализации до 1000 мг/л. Имеется некоторая неравномерная тенденция взаимосвязи возрастания количества стронция по мере роста минерализации до 400 мг/л. Выявлено, что обогащенность подземных вод литием, бором, барием, мышьяком, фтором, селеном и другими микрокомпонентами не зависит от их химического типа.

Состав и свойства пресных родников соответствуют гигиеническим нормам, установленным для вод нецентрализованного водопользования, и имеют высокое природное качество. Они соответствуют нормам физиологической полноценности, то есть они способны восполнить организм человека необходимыми элементами. Вместе с тем воды родников обогащены по ряду эссенциальных и условно эссенциальных элементов, что также способствует поддержанию микроэлементного баланса в организме человека, восполнению в нем элементодифицита для нормального функционирования живого организма.

Солоноватые воды родников возможно использовать для питья, но в ограниченном количестве. Их применение возможно в лечебных целях после проведения соответствующих исследований их состава и подтверждения бальнеологических свойств.

Распространенные на территории Республики Тыва выходы подземных вод в виде родников, воды которых используются населением в питьевых и лечебных целях в основном стихийным образом. Многие родники имеют уникальные свойства и находятся в особых природно-климатических условиях, в живописных местах Республики Тыва. Дальнейшее изучение особенностей состава природных подземных вод будет способствовать развитию туристического и курортного потенциала территории. Для сохранения этого природного достояния необходимо придание им особого статуса – охраняемых территорий с ограничением хозяйственной деятельностью.

Хочется выразить благодарность Аракчаа Кара-кыз Донгаковне учёному секретарю ГБУ «НИИ Медико-социальных проблем и управления Республики Тува», к.х.н, научному руководителю НИР по изучению природных водных ресурсов Республики Тыва, постоянное внимание и заботу как научного наставника. А также Копыловой Юлии Григорьевне кандидату геолого-минералогических наук, начальнику центра Научно-образовательного центра «Вода» за возможность участия в выездной экспедиции по родникам Тывы и приобрести практические навыки полевых работ.