

ГИДРОГЕОХИМИЯ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ О. ПАРАМУШИР (КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА)

Калачева Е.Г., Котенко Л.В., Котенко Т.А.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,
keg@kcs.iks.ru*

Изучен макрокомпонентный состав подземных вод, разгружающихся на территории северной части о. Парамушир. По физико-химическим параметрам и преобладающим компонентам выделены четыре основных геохимических типа вод: 1) ультракислые воды (рН 0-3), разгружающиеся в приделах постройки вулкана Эбеко; 2) кислые сульфатные (рН 3-5.5), приуроченные к комплексу гидротермально измененных пород; 3) нейтральные гидрокарбонатные (рН 5.5-7.5), распространенные вне зоны влияния процессов гидротермального метаморфизма и современного вулканизма; 4) слабощелочные хлоридно-натриевые (рН 7.5-8.5), вскрытые в процессе бурения вблизи г. Северо-Курильска. Расчеты, проведенные на основе минеральных и кремниевых геотермометров, показали, что ультракислые воды формируются в диапазоне температур от 105 до 125°C, кислые при 75-100°C. Рассчитанные по Na-K геотермометру температуры для слабощелочных вод составили – 105-145°C. Проведенное термодинамическое моделирование позволило оценить степень насыщения подземных вод района по отношению к различным минеральным соединениям.

HYDROGEOCHEMISTRY OF THE NORTHERN PART OF THE PARAMUSHIR ISLAND (KURIL ISLANDS)

Kalacheva E.G., Kotenko L.B., Kotenko T.A.

*Institute of Volcanology and Seismology FED RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky
keg@kcs.iks.ru*

We have studied the macrocomponent composition of underground waters of the northern part of the Paramushir Island. On the physical and chemical parameters and predominant components were determined four geochemical groups of waters: 1) ultra acidic waters (pH 0-3) are discharged on Ebeko volcano. The waters are shaped at the expense of merging magmatic gases with meteoric waters. 2) Acidic waters (pH 3-5.5) have a compound cationic composition. They are shaped at the expense of interaction of underground waters with metasomatites. 3) The neutral waters (pH 5.5-7.5) have a speckled cationic composition. Waters are shaped at the expense of atmospheric precipitation. The alkaline waters (pH 7.5-8) are detected by drill-holes near Severo-Kurilsk. It is a deep-level chloride-sodium hydrothermal system. The calculations, which have been carried out by means of mineral and chemical (silica) geothermometers, have shown: ultra acidic waters are formed in a range of temperatures from 105 to 125°C, acidic – at 75-100°C. The temperatures for the alkaline waters, calculated on Na-K geothermometer, have values from 105 to 145°C. The carried out thermodynamic simulation has allowed estimating a degree of saturation of underground waters relative to various minerals.

1. Введение

Одним из интересов к хребту Вернадского многих исследователей [4, 10, 11, 13] обусловлен наличием в его недрах Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы [16] и связанными с ее деятельностью процессами гидротермального метаморфизма. Поверхностные проявления системы представлены разнообразными термальными источниками, охарактеризованными с

различной степенью детальности, вызванной неравномерностью их изученности. Наиболее детально рассмотрены гидротермы вулканы Эбеко и влк. Влодавца. Описание основных термопроявлений и их химический состав есть в работах [6, 9, 15]. Геохимическая работа гидротерм по выносу микроэлементов подробно освещена в [4, 5, 14, 17]. Некоторые данные по изотопному составу этих вод даны в монографии Баского Е.А. и Сурикова С.Н. [2]. Наиболее полное систематическое описание всех основных групп термальных источников хребта Вернадского приведено в книге Мархинина Е.К. и Стратулы Д.С. [9], где анализируются геохимические особенности гидротерм, рассмотрены вопросы баланса вещества в современном гидротермальном процессе и влияние микроорганизмов на состав и геохимическую работу гидротерм.

Кроме этого есть целый ряд работ [11, 12, 15, и др.], посвященных генезису и химическому составу вулканических газов и измененных пород влк. Эбеко.

В последние годы в Институте Вулканологии ДВО РАН с целью изучения геологического строения, процессов рудообразования и условий формирования подземных вод в недрах Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы в северной части о. Парамушир, в пределах хребта Вернадского (280 км²), проводятся комплексные геоло- гидрогеологические работы [7, 16, 25].

2. Краткая геолого-структурная и гидрогеологическая характеристика района исследований

Хребет Вернадского протягивается в субмеридиональном направлении от г.Ветренной на севере до г. Вернадского на юге и имеет общую длину около 24 км при средней ширине около 20 км. Максимальным превышением над уровнем океана обладает влк. Вернадского (1180 м), остальные вершины редко превышают отметки 1150, а высоты перевалов не опускаются ниже 950-1000 м. Основными рельефообразующими факторами являются с одной стороны, - тектоно-магматические процессы, в результате которых произошло вздымание хребта и сформировались положительные формы рельефа, с другой стороны - ледниковая деятельность, частично разрушившая горные сооружения. Кроме этого определенную роль играет морская абразия, постоянные и временные водотоки, сейсмостектонические обвалы и оползни, а также эоловые и склоновые процессы [10].

Северная часть острова Парамушир сложена породами, имеющими возраст от

верхнемиоцен- плиоценового до современного. Фундаментом являются вулканогенно-осадочные породы охотской ($N_1^3 - N_2^1$) и океанской (N_2^{2-3}) свит, с которыми согласны и прорывают их дайки, силлы, субвулканические образования сложной формы, имеющие, в основном, андезито-базальтовый состав. На отложениях охотской и океанской свит залегают лавы андезитов и базальтов верхнеплиоцен – ниже- среднеплейстоценового возраста. Четвертичные вулканы образуют крупную вулканотектоническую структуру, в недрах которой в течение длительного времени происходила миграция магматического расплава андезитобазальтового состава [16].

Действующим является вулкан Эбеко, характеризующийся фреатическим типом извержений [10]. В настоящее время активность вулкана заключается в периодических выбросах резургентного пепла и парогазовой смеси на фоне интенсивной фумарольной деятельности. Основная поверхностная разгрузка тепла и вещества осуществляется через три крупных вершинных кратера и по долинам рек Юрьевой, Горшкова и Кузьминки.

Гидрогеологические условия, распространение, накопление и динамика подземных вод северной части о. Парамушир определяются геологическим строением, климатом и рельефом острова. Выделенные водоносные горизонты и комплексы представлены на **рис. 1**. Отсутствие региональных водоупорных толщ на исследуемой территории позволяет рассматривать водоносные горизонты и комплексы в виде единой, гидравлически связанной водной системы. Связь между горизонтами и комплексами контролируется вулканотектоникой, системой разломов, даек, некков, и др. Основное питание подземных вод осуществляется за счет метеорных вод. На территорию северной части о. Парамушир (с учетом высотного распределения) ежегодно в среднем выпадает 3123 мм, а испарение составляет 381 мм в год. Среднегодовое значение нормы стока 2271 мм [7, 25]. Используя уравнение водного баланса (Куделин, 1960), точность которого достаточна для предварительной оценки количества инфильтрационного питания подземных вод района, определено, что на пополнение из запасов ежегодно поступает 471 мм, что составляет около 15 % от общего количества атмосферных осадков.

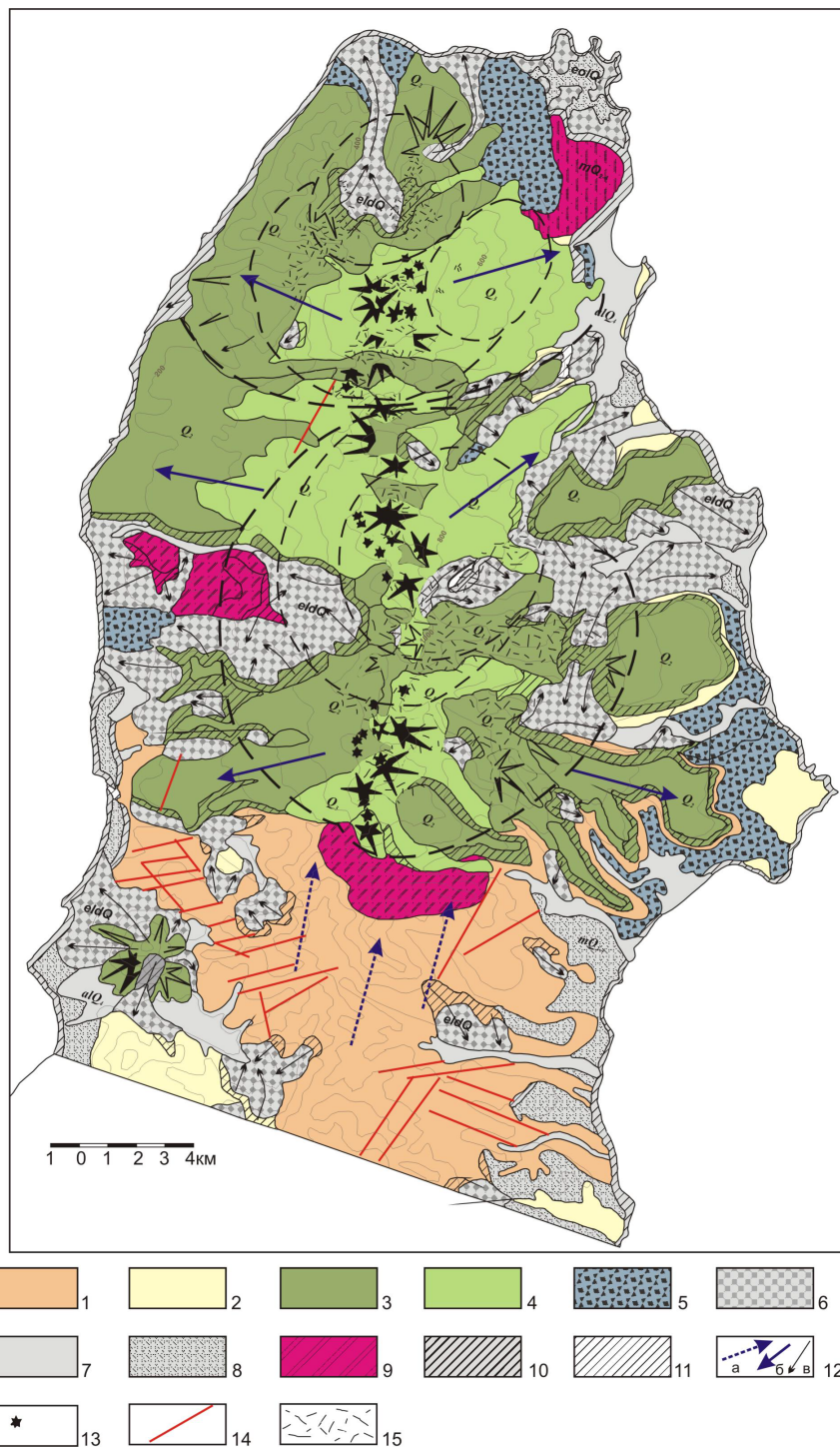


Рис. 1. Структурно-гидрогеологическая карта-схема северной части о. Парамушир.

Составлена с использованием материалов Мелекесцева И.В. и Рычагова С.Н.

Водоносные горизонты и комплексы: 1. олигоцен (?)–миоценовых вулканогенных и осадочных пород, 2 водоносный комплекс туфогенно-осадочных пород средниоцен-плиоценового возраста, 3 – вулканогенный комплекс ниже-среднечетвертичных плато-эффузивов, 4 – водоносный комплекс верхнечетвертичных вулканогенных отложений, 5 – водоносный комплекс верхне-четвертичных ледниковых отложений, 6 – водоносный горизонт элювиальных - делювиальных (обвальных) отложений, 7 – водоносный горизонт современных аллювиальных отложений, 8 – водоносный горизонт морских и эоловых отложений, 9 – водоносный комплекс нерасчлененных интрузивных комплексов, 10 – область разгрузки грунтовых вод, 11 – область разгрузки водоносных горизонтов и комплексов, 12 – направления движения подземных вод: а – артезианского бассейна, б и в - гидрогеологического супербассейна, 13 – вулканы, 14 – а - тектонические нарушения, б – основные морфоструктуры, 15 – зоны гидротермально измененных пород.

3. Методика исследований

Полевые исследования на территории северной части о. Парамушир проводились в период 2000-2003 гг. Основной целью этих работ являлось изучение условий питания, движения и разгрузки подземных вод, а также определения их физических свойств и химического состава. Объектами исследований послужили все виды источников, мочажины и разведочные скважины, пробуренные в окрестностях г. Северо-Курильска. Общий анализ водных проб включал определение pH, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , HCO_3^- , F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , а также H_4SiO_4 и H_3BO_3 . Ионный состав воды определялся стандартными методиками в аккредитированной центральной химической лаборатории ИВ ДВО РАН (аналитики В.К.Марынова, С.В.Сергеева, О.В.Шульга, А.А. Смышляева).

4. Химический состав подземных вод

Разнообразие химического состава природных вод в пределах изучаемого района создает определенные трудности изучения их и в особенности систематизации имеющегося гидрохимического материала.

За основу для определения типов подземных вод, разгружающихся в пределах хребта Вернадского авторами была принята несколько видоизмененная классификация Л.Б. Барабанова (1976), разработанная с учетом специфических условий для термальных вод для Курильской вулканической области. Ведущими классификационными признаками являются:

1. Кислотно-щелочные свойства (граница между кислыми и пресными водами была определена как $\text{pH}=5.5$. Это предельно нижнее значение для атмосферных осадков, не затронутых антропогенным или вулканическим влиянием (Gallway и др, 1982).
2. Преобладающий ионный состав (больше 15 экв. %), при этом название химического состава природных вод начинается с преобладающего компонента;
3. Температура;
4. Общая минерализация.

Таким образом, подземные воды района разделяются на четыре большие группы, имеющие дополнительные подтипы. Диаграмма химического состава их представлена на **рис. 2**.

Ультракислые (pH 0.1-3.0) гидротермы. Область разгрузки этих вод ограничена привершинной частью вулкана Эбеко и бассейном р. Юрьевой. Эта подразделяющаяся

на три дополнительных подтипа.

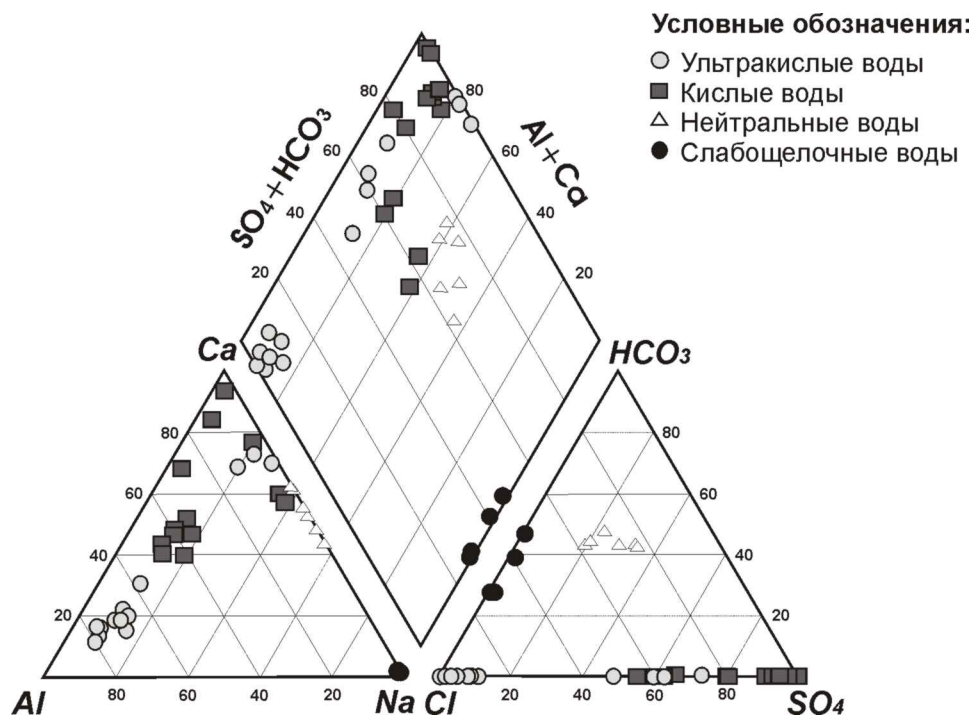


Рис. 2. Диаграмма химического состава вод северной части о. Парамушир

- Хлоридные термы проявлены в виде кипящих котлов, не имеющих или с незначительным поверхностным стоком в привершинной части влк. Эбеко. Дебиты их не превышают 0.1-0.2 л/с. Температура высокая, колеблется в пределах 85-99°C. Среди всех вод относящихся к этому типу они имеют самые низкие значения pH (<1.0), и самую высокую минерализацию до 70 г/л.

- Сульфатно-хлоридные алюминиевые термы разгружаются, в основном, в долине р. Юрьевой. Для этих вод характерным является доминирующее значение Al^{3+} среди катионов. По сравнению с вышеописанными термами эти источники имеют больший дебит до 2-7 л/с, меньшую минерализацию 5- 27 г/л при pH 1.0-1.4 и T 75-96°C.

- Сульфатные кальциевые термы имеют значения pH от 2.0 до 3.0 и температуру 30-60°C. Дебиты источников в среднем составляют 0.1-2 л/с. Общая минерализация 2-5 г/л.

Кислые (pH 3.0-5.5) сульфатные воды разгружаются в виде отдельных источников с дебитами от 1 до 100-200 л/с в бассейнах практически всех рек, дренирующих восточные склоны хребта Вернадского, и некоторых рек Западного склона. В основном это низкотемпературные (6-23°C) воды с минерализацией не более 1-2 г/л.

Нейтральные (5.5-7.5) гидрокарбонатные с пестрым катионным составом подземные воды разгружаются в районах, не затронутых гидротермальным метаморфизмом и современной вулканической деятельностью, в основном, в северо-восточной и юго-западной частях хребта Вернадского. Они также вскрыты в процессе бурения неглубоких скважин вблизи г. Северо-Курильск. Дебиты источников от 0.5 до 30 л/с, рН 6.7-7.5. Удельные дебиты скважин составляют 0.1 - 0.3 л/с. Общая минерализация вод данной группы 100 –200 мг/л, температура - 3-5°C. Слабощелочные (7.5-8.0) хлоридно-гидрокарбонатные натриевые подземные воды в естественных выходах на исследуемой территории не встречаются, но вскрыты в процессе бурения геотермальной скважины П-2 в долине р. Матросской вблизи г. Северо-Курильска. Температура воды на изливе составляет 80-95°C, общая минерализация 7.2-9.5 г/л. Расход скважин изменялся от 0.1 до 14 л/с. Значения рН от 7.7 до 8.0.

5. Источники водного питания природных вод

Данные по изотопному составу кислорода и водорода подземных вод северной части о.Парамушир представлены в ряде работ [2, 11].

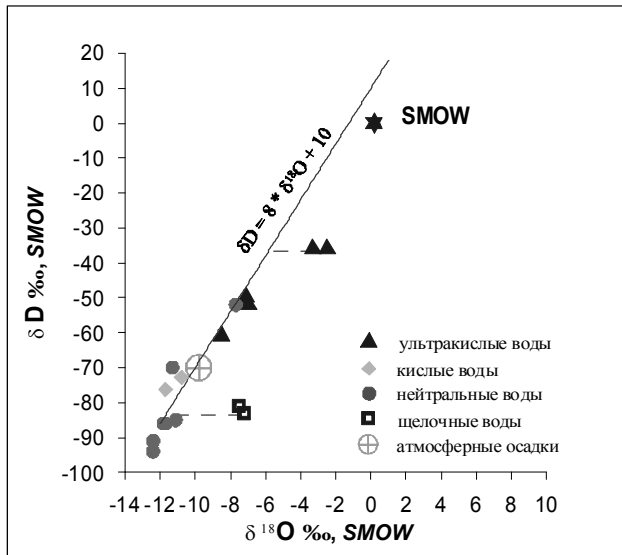


Рис. 3. Соотношение изотопов кислорода и водорода в водах исследуемого района

По значению $\delta D\text{‰}$, $\delta O^{18}\text{‰}$ подземные воды района, в целом, близки к местным метеорным водам (рис. 3). Но в ультракислых и слабощелочных водах наблюдаются тенденции смещения в сторону утяжеления кислорода. Подобное может происходить за счет процессов взаимодействия вод со вмещающими породами, при этом чем больше сдвиг, тем больше времени это взаимодействие происходило.

6. Химические равновесия в подземных водах хребта Вернадского

Для изучения физико-химических условий взаимодействия подземных вод с вмещающими породами, большое значение имеет изучение равновесий, как между растворенными компонентами, так и между растворами и минералами горных пород.

Основой для проведения анализа химических равновесий в водных растворах является установление степени их насыщения тем или иным растворенным элементом или соединением. Для расчетов индексов насыщения ($SI = \log AP/KT$) используется программный пакет WATEQ4F, разработанный J.W. Ball и D.K.Nordstrom [20]. База данных WATERQ4F включает термодинамические константы для более трехсот минералов и четырехсот компонентов в растворе. При расчетах в качестве исходной информации используется анализ природных вод, а также измеренные или оцененные физико-химические параметры, такие как Eh, pH, отношения концентраций элементов переменной валентности (Fe^{3+}/Fe^{2+} и др.).

Проведенное термодинамическое моделирование, показывающее по отношению к каким минеральным фазам подземные воды северной части о. Парамушир потенциально насыщены или перенасыщены, свидетельствует о следующем (табл. 1):

Соединения	Ультракислые	Кислые	Нейтральные	Слабощелочные
Магнетит	-5.38	1.79		
Гематит	-1.13	8.34		
Гётит	-1.29	3.20		
Ферригидрит	-7.55	-2.05		
Халцедон	0.69	0.30		
Кристобалит	0.63	0.46	0.01	0.12
Кварц	0.97	0.87	0.40	0.76
SiO ₂ аморфный	-0.07	-0.49	-0.86	-0.96
Каолинит	-6.61	-1.82		
Ангидрид	-1.59	-2.13	-3.20	-2.51
Гипс	-1.86	-1.90	-2.98	-2.73
Эпсомит	-4.82	-4.53	-5.29	-5.48
Магнезит		-6.03	-2.81	1.4
Кальцит		-5.51	-2.32	1.49
Арагонит		-5.37	-1.76	1.38
Аллофан	1.16	-1.17		
Урбанит	-2.13	-0.30		
Басальюминит		0.008		
Алунит	-4.30	-0.41		
Гиббсит	-5.28	-1.5		
Диаспор	-3.81	-0.34		

(магнетит, гематит, гётит и феррогидрид) и отдельным алюмосиликатам

(пирофиллит и аллофан).

2. Кислые воды перенасыщены в отношении низкотемпературных минералов, в состав которых основными компонентами входят гидроокислы и окислы железа и алюминия, и кремнезем. Также эти воды перенасыщены в отношении гидроксилсульфатов алюминия (урбанит и басалуминит), и алюмосиликатов отвечающих каолиниту, алунита.

3. Слабощелочных воды пересыщены по отношению к соединениям, отвечающих карбонатным минералам (кальцит, магнезит, арагонит) и силикатам (кварц, кристобалит).

Индексы насыщения минералов группы сульфатов (гипс, ангидрид, эпсомит) значительно ниже границы насыщения для всех типов вод региона.

7. Температурные условия формирования подземных вод

Для оценки условий формирования вод были рассчитаны «базовые» температуры вод Северо-Парамуширского района с использованием гидрохимических и минеральных геотермометров. Для оценки пригодности катионных геотермометров для вод исследуемого района построена треугольная диаграмма отношений $Na/1000-K/100-\sqrt{Mg}$ [24]. Корректные результаты получаются в том случае, если соотношение этих элементов в исследуемых водах располагаются близко от кривой равновесия (рис. 4). В данном случае, за исключением

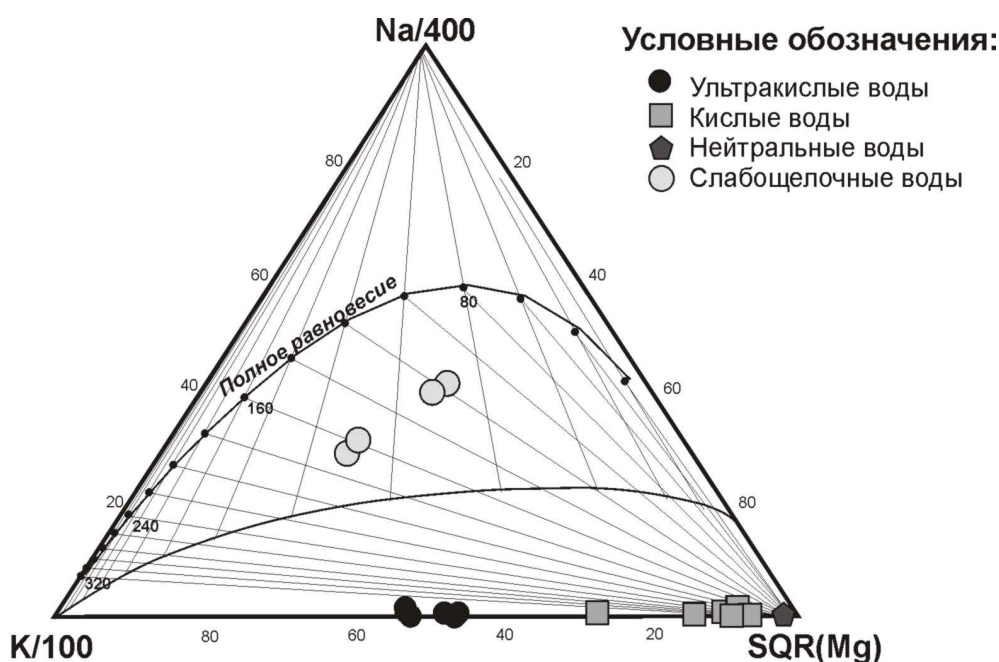


Рис. 4. Диаграмма У. Гигенбаха (Giggenbach, 1988) в приложении к водам исследуемого района.

слабощелочных вод, все точки лежат значительно ниже этой кривой, что приводит к завышенным значениям температуры.

Применение Si-геотермометров для исследуемых вод также не дает достоверных результатов (табл. 2), так как при подъеме воды к поверхности и в результате процессов смешения происходит частичная потеря кремния.

Таблица 2. Рассчитанные температуры для вод северной части о. Парамушир.

Значения	Т, °С кристаб.	Т, °С халц.	Т, °С кварц	Na/K	Na/K
	Fournier, 1977			Truesdell, 1976	Fournier, 1979
ультракислые воды (20 точек)					
минимальные	108	134	159		
максимальные	157	188	205		
средние	134	163	183		
Кислые воды (10 точек)					
минимальные	37	56	87		
максимальные	73	96	124		
средние	51	70	102		
слабощелочные					
скв. П-2				105	145

В случаях, когда химические геотермометры при определенных условиях не дают достаточно достоверных температур, может помочь применение минеральных геотермометров, основанных на изучении минеральных равновесий. При этом этот метод хорошо работает и для низкотемпературных источников и для высокотемпературных геотермальных вод в широком спектре химических составов [19]. Это связано с тем, что для исследования применяется совокупность минералов, как используемых для силикатных геотермометров (кварц, халцедон, или аморфный кремнезем), так и влияющих на содержание в растворе натрия, калия, кальция (полевые шпаты, K_2SiO_4 и др.).

В результате применения минеральных геотермометров для термальных вод северной части выявлено следующее.

Для ультракислых вод (рис. 5), индексы насыщения возможными минеральными соединениями (халцедон, кристобалит, кварц, монтмориллонит) равны нулю при температурах 105-125°C.

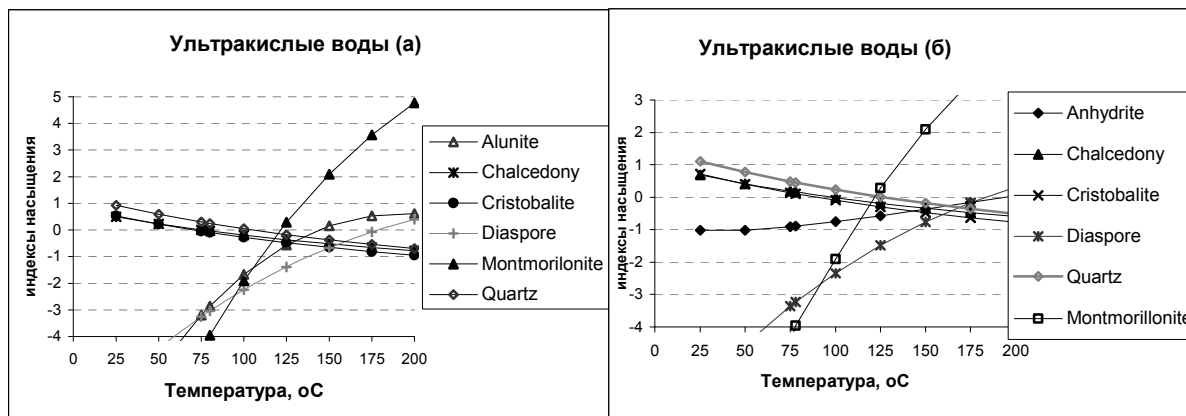


Рис. 5. Рассчитанные индексы насыщения минералов при различных температурах для ультракислых вод северной части о. Парамушир

Для кислых вод (рис. 6 а) линии насыщения в отношении большинства представленных минералов (ангидрид, халцедон, кристобалит, кварц, гиббсит, каолинит), пересекают нулевую отметку в диапазоне температур от 70-100°C, но для

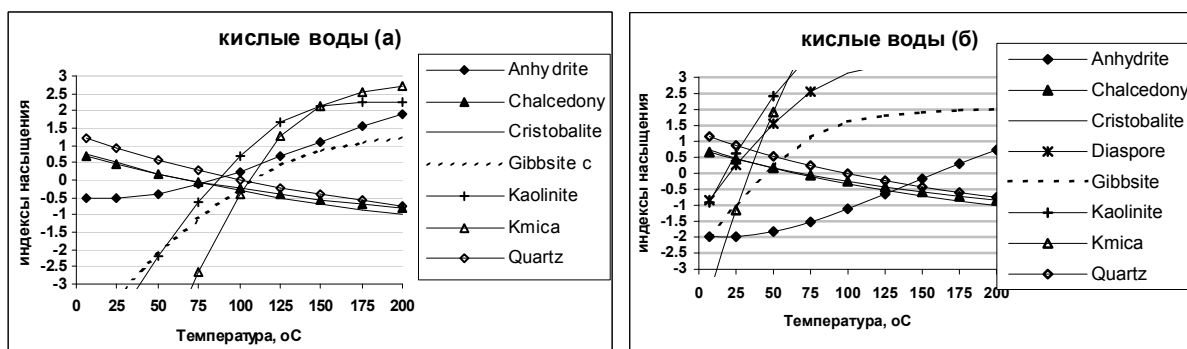


Рис. 6. Рассчитанные индексы насыщения минералов при различных температурах для кислых вод северной части о. Парамушир.

некоторых точек (рис. 6, б) - в широком интервале температур, что может быть вызвано неравновесными условиями, вызванными, или смешением с холодными грунтовыми потоками, или в результате малых скоростей восходящего потока.

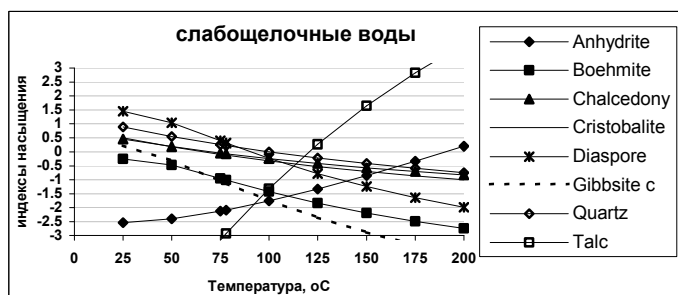


Рис. 7 Рассчитанные индексы насыщения минералов при различных температурах для слабощелочных вод северной части о. Парамушир

Применение минеральных геотермометров для слабощелочных хлоридно-гидрокарбонатных натриевых вод (рис. 7) не дало хороших результатов, так как эти воды сильно разубожены холодными грунтовыми водами.

8. Обсуждение результатов

Формирование ультракислых вод района, циркулирующих в центральной части (район влк. Эбеко) четвертичных вулканогенных пород, может происходить следующими способами. 1. В результате смешения магматических эманаций и грунтовых вод зоны аэрации образуются хлоридные воды, так называемые «фумарольные термы поверхностного формирования» [6], разгружающиеся в районе привершинной части вулкана. 2. По периферии этого района разгружаются сульфатно-кальциевые воды, образованные также в результате смешения магматических эманаций с грунтовыми водами зоны аэрации, но на их формирование в значительной степени оказывает влияние и взаимодействие со вмещающими породами, в результате которого происходит обогащение их рядом породообразующих элементов. 3. Приуроченные к постройке вулкана Влодавца ультракислые сульфатно-алюминиевые термальные источники представляют собой очаг разгрузки фумарольных терм «глубинного формирования» [6], образовавшихся в результате растворения глубинных магматических газов в изолированном водоносном горизонте.

Наиболее возможным способом формирования кислые сульфатных вод, циркулирующие также среди вулканогенных пород четвертичного возраста, является взаимодействие подземных инфильтрационных вод с вулканогенными породами, подвергшимися гидротермальному изменению. Но повышенные значения температуры и концентрации хлор-иона в некоторых источниках позволяют предположить влияние на формирование подобного типа вод и глубинных флюидов.

Нейтральные гидрокарбонатные с пестрым катионным составом холодные подземные воды формируются за счет инфильтрации атмосферных осадков, циркулирующих в вулканогенных и рыхлых отложениях четвертичного возраста, не затронутых процессами гидротермального метаморфизма.

Отсутствие естественных водопроявлений слабощелочных хлоридно-гидрокарбонатных – натриевых вод, циркулирующих среди миоцен-плиоценовых вулканогенно-осадочных отложений может быть связано со сравнительно более глубоким положением основного резервуара гидротерм, перекрытого толщей

четвертичных вулканогенных пород, и с недостаточным пластовым давлением. Данный тип вод вероятнее всего представляет собой дериват глубинных хлоридно-натриевых рассолов, формирующихся в надинтрузивной зоне (зоне нагрева) гидротермально магматической системы [16].

9. Выводы

Наличие проявлений четвертичного вулканизма, обширная гидротермальная деятельность в настоящее время и на прошлых этапах развития острова, наложили отпечаток на гидрогеохимические условия района. В результате в пределах исследуемого района развиты разнообразные по химическому составу воды, составляющие четыре основные группы, различающиеся по условиям формирования. Ультракислые термальные воды циркулируют в вулканогенных отложениях четвертичного возраста, в зоне влияния источника тепла и высокотемпературных газовых эманаций. Кислые холодные и слаботермальные воды также формируются в этом водоносном комплексе, но приурочены они к зонам гидротермально измененных пород. Среди неизмененных пород четвертичного возраста и в зоне выветривания нерасчлененных интрузивных образований распространены нейтральные гидрокарбонатные воды. Слабощелочные термальные воды циркулируют в неогеновых вулканогенно-осадочных отложениях. Расчеты, проведенные на основе минеральных и кремниевых геотермометров показали, что ультракислые сульфатные (хлоридные) водородные воды формируются в диапазоне температур от 105 - 125°C до 180°C, сульфатные кислые воды при 55-75°C до 100°C. Рассчитанные по Na-K геотермометру температуры для слабощелочных хлоридно-гидрокарбонатных натриевых вод составили – 105-145°C.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 03-05-64044а, 05-05-79101к).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Барабанов Л.Н.** Химические равновесия и зональность термальных вод Курильских островов // Гидротермальный процесс в областях тектоно - магматической активности. М.: Наука, 1977, С.155-163
2. **Басков Е.А., Суриков С.Н.** Гидротермы Тихоокеанского сегмента Земли. // М.: Недра, 1975, 172 с.
3. **Гидрогеология СССР. Том XXIX Камчатка, Курильские и Командорские острова** // Москва: Недра, 1972
4. **Зеленов К.К.** О выносе растворенного железа в Охотское море гидротермами вулкана Эбеко (Остров Парамушир). // Докл. АН СССР, 120, №5, 1958
5. **Зеленов К.К., Ткаченко Р.И., Канакина М.А.** Перераспределение рудообразующих элементов в

- процессе гидротермальной деятельности вулкана Эбеко (остров Парамушир) // Тр. ГИН АН СССР, вып. 141, 1965, С. 140-167.
6. **Иванов В.В.** О происхождении и классификации современных гидротерм // Геохимия. №5, 1960
 7. **Калачева Е.Г.** Гидродинамическая характеристика хребта Вернадского (о.Парамушир) // Тезисы доклада Первой Сибирской международной конференции молодых ученых по наукам о Земле. Новосибирск, 2002 г. стр.
 8. **Кононов В.И.** Геохимия термальных вод областей современного вулканизма (рифтовых зон и островных дуг). // М.: Наука, 1983, 212с.
 9. **Мархинин Е.К., Стратула Д.С.** Гидротермы Курильских островов. // М.: Наука, 1977, 212 с.
 10. **Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирьянов В.Ю. и др.** Вулкан Эбеко (Курильские острова): История эруптивной активности и будущая вулканическая опасность. Ч.1 // Вулканология и сейсмология. 1993. №3. С. 69-81.
 11. **Меняйлов И.А., Никитина Л.П., Шапарь В. Н.** Особенности химического и изотопного состава фумарольных газов в межэруптивный период деятельности вулкана Эбеко // Вулканология и сейсмология. 1988. № 4. С. 21-36.
 12. **Набоко С.И.** Гидротермальный метаморфизм пород в вулканических областях. // М.: Изд-во АН СССР. 1963. 172 с.
 13. **Нехорошев А.С.** Геотермические условия и тепловой поток вулкана Эбеко на острове Парамушир // Булл. Вулк. Ст. АН СССР, 1960, С. 38-46.
 14. **Никитина Л.П.** Миграция металлов с активных вулканов в бассейн седиментации. Издательство Наука, Москва 1978, 80 с.
 15. Опыт комплексного исследования района современного и новейшего вулканизма (на примере хр. Вернадского о. Парамушир). Труды СахКНИИ СО АН СССР. 1966. 206 с.
 16. **Рычагов С.Н., Белоусов В.И. и др.** Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая система: Характеристика глубокого геологического разреза и модель современного минералорудообразования в ее недрах.// Вулканология и сейсмология, 2002, №4, с 3-21
 17. **Сидоров С.С.** К вопросу о гидротермальном метаморфизме пород в поствулканическом процессе на примере вулкана Эбеко (Курильские острова). ДАН СССР, 154, №3, 1964
 18. **Сидоров С.С.** Термальные воды Курильских островов. // Тр. 2 Всесоюзного вулканологического совещания. Т.1. М.: Наука 1966, С. 211-218
 19. **Amore F.D., Fancell R u Caboi R.** Observations on the application of chemical geothermometers to some hydrothermal systems in Sardinia. // Geothermic, 1987, Vol.16, №3, pp.271-282
 20. **Ball J.W. and Nordstrom D. K.** User's manual for WateQ4F, with revised thermodynamic data base and test cases for calculating speciation of major, trace, and redox elements in natural waters // U.S. Geological survey. Menlo Park, California, 1991
 21. **Fournier and Truesdell A.H.** An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. // Geochimica et Cosmochimica Acta 37, p. 1255-1275.
 22. **Fournier R.O.** Application of water geochemistry to geothermal exploration and reservoir engineering. Geothermal Systems: Principles and Case Histories (Edited by Rybach L. and Muffler L.J.P), pp109-143, Wiley NY
 23. **Fournier R.O. and Potter R.W.** A revised and expanded silica (quartz) geothermometer. // Geoth. Res. Council Bull, 1982, vol. 11, 3-9
 24. **Giggenbach W.F.** Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. // Geochimica et Cosmochimica Acta 52, p. 2749-2765.
 25. **Kalacheva E.G., Rychagov S.N., Chudaev O.V.** Dynamic and geochemistry of groundwaters in region volcano Ebeko (island Paramushir). In book: Metallogeny of the Pacific northwest: tectonics, magmatism and metallogeny of the continental margins. Vladivostok. Dalnauka, 2004, pp 638-642