УДК 550.36 : 551.21

ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛОВОГО ПИТАНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВУЛКАНА ЭБЕКО (о. Парамушир, Курильские острова)

О. Р. Хубаева, А. Г. Николаева

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский E-mail: grifon03@yandex.ru

На базе данных по гидротермальным изменениям пород, химическому составу разгрузок минерализованных термальных вод, геологии и гидрогеологии скважин П-1, П-2, ГП-3 и тектонике разломных зон северной части о. Парамушир (Северные Курилы) построена концептуальная модель гидротермально-магматической системы активно действующего влк. Эбеко. Основой для построения модели послужил опорный геологический разрез скважины ГП-3 до глубины 2500 м. Тепловое питание гидротермально-магматической системы в районе расположения влк. Эбеко связывается с магматическими инъекциями по сети развития даек.

Ключевые слова: островодужные гидротермальные системы, магматические очаги, дайки, тепловое питание гидротермальной системы, гидротермально-магматическая система, концептуальная модель, о. Парамушир, влк. Эбеко.

введение

Актуальность. Гидротермальные системы являются перспективными альтернативными источниками энергии.

Для того чтобы дать верную оценку тепловой мощности гидротермальной системы, необходимо иметь представление об источниках ее теплового питания.

На сегодня в большей степени интересны островодужные гидротермально-магматические системы, сопряженные с активными андезитовыми вулканами. К таким системам относится крупная гидротермально-магматическая система о. Парамушир (Курильские острова). Деятельность гидротерм в этом районе большей частью пространственно и генетически связана с очагами активных вулканов.

Изучением геологического развития о. Парамушир, исследованиями вулканизма, тектоники и гидротермальных систем занимались многие ученые (Горшков, 1967; Федорченко и др., 1989; Мелекесцев и др., 1993; Белоусов и др., 2002; Рычагов и др., 2002).

В северной части хр. Вернадского этого острова расположен действующий андезитовый влк. Эбеко. С ним связана активная фумарольная и гидротермальная деятельность. В работе (Рычагов и др., 2002) северная часть хр. Вернадского рассматривается как единая долгоживущая СевероПарамуширская гидротермально-магматическая система. Однако механизмы взаимодействия гидротермальной и магматической систем на сегодня до конца не выяснены. Решение таких вопросов требует комплексного подхода.

Цель – выявление источников теплового питания гидротермальной системы влк. Эбеко (о. Парамушир).

Новизна. В работе представлена концептуальная модель гидротермально-магматической системы влк. Эбеко, построенная на основе обобщения различных данных по строению северной части о. Парамушир, позволяющих показать и охарактеризовать глубинное строение системы.

Вулканические системы хр. Вернадского

Остров Парамушир – один из наиболее крупных островов Большой Курильской гряды (рис. 1). Современные вулканы здесь образуют два меридиональных хребта – Вернадского и Карпинского, кулисообразно расположенных один по отношению к другому.

Остров Парамушир является относительно поднятым блоком земной коры и рассматривается как продолжение прибрежного горста Южной Камчатки (Горшков, 1967). Дизьюнктивными нарушениями он разбит на серию блоков, испытавших относительно друг друга горизонтальные и вертикальные перемещения. Разломы северо-западного простирания разбивают остров на ряд поднятых и опущенных блоков (горстов

[©] Хубаева О. Р., Николаева А. Г., 2017



Рис. 1. Схематическая геологическая карта северной части о. Парамушир (Леонов, 1990): 1 – современные аллювиальные, морские и озерные отложения (*a*) и обвалы (*b*); 2 – лавы андезитового и андезибазальтового состава (Q_4); 3 – ледниковые отложения (Q_3^{-4}); 4 – лавы андезитового состава (Q_3); 5 – лавы андезитового и андезибазальтового и андезибазальтового состава ($N_2^{-2} - Q_1$); 6 – лавы, туфы и туфобрекчии базальтового состава ($Q_{1,2}$); 7 – нерасчлененные вулканогенно-осадочные отложения и субвулканические тела ($N_1^{-2} - N_2$); 8 – небольшие вулканы, лавовые и шлаковые конусы осевой части хр. Вернадского; 9 – морфологически выраженные уступы, границы эрозионных кальдер; 10 – геотермальные скважины и их номера; пунктирными линиями показаны генеральные тектонические нарушения линейного и кольцевого плана

Fig. 1. Schematic geological map of the northern part of Paramushir Island (Леонов, **1990**): 1 – modern alluvial, marine, and lacustrine deposits (*a*) and landslides (δ); 2 – andesitic and andesitic-basaltic lavas (Q_4); 3 – glacial deposits (Q_3^4); 4 – andesitic lavas (Q_3); 5 – andesitic and andesitic-basaltic lavas ($N_2^2 - Q_1$); 6 – basaltic lavas, tuffs, and tuff breccias ($Q_{1,2}$); 7 – undivided volcanogenic-sedimentary deposits and subvolcanic bodies ($N_1^2 - N_2$); 8 – small volcanoes, lava and cinder cones in the axial part of the Vernadsky Ridge; 9 – morphologically distinct benches, erosion calderas boundaries; 10 – geothermal boreholes and their numbers; dotted lines denote general linear and ring-shaped tectonic dislocations

и грабенов) (Леонов, 1992). Северный сектор острова разделен на горизонтально вытянутые, попеременно сменяющие друг друга и различающиеся по степени эродированности блоки (Хубаева, 2003). Смещения блоков по разломам широтного простирания, характерным для района хр. Вернадского, также привели к образованию серии горстов и грабенов, но со значительно меньшей их областью распространения и размерами, чем предыдущие (Леонов, 1990). Некоторые глубинные разломы при этом оказались благоприятными путями внедрения расплавленных магматических масс, которые при остывании образовали тела полнокристаллических интрузивных пород (Сергеев, 1976). Именно с разрывными нарушениями северо-западного простирания ассоциируют многие термальные проявления северной части о. Парамушир (Хубаева и др., 2007).

Фундамент острова сложен неогеновыми, преимущественно осадочными породами парамуширского комплекса свит с интрузиями гранитоидов (Горшков, 1967; Федорченко и др., 1989; Белоусов, Белоусова, 2002).

Прорванные серией плиоценовых даек и силлов, породы неогенового возраста образуются в пологие складки, вытянутые по простиранию островной дуги. Как раз складчатость о. Парамушир является исключением в Большой Курильской островной дуге (Сергеев, 1976).

На породах неогенового возраста залегают отложения четвертичного вулканогенного комплекса, образующего современные вулканические постройки. В северной части о. Парамушир вскрыты лаво-пирокластические отложения базальтового состава ранне-среднеплейстоценового возраста (Q₁–Q₂). Широкое распространение среди четвертичных отложений имеют двупироксеновые андезиты, возраст которых от 110 до 20 тыс. лет (Мелекесцев и др., 1993).

В пределах о. Парамушир, как и во всей Курильской вулканической системе, существуют разгрузки вертикального потока вещества и тепла, представляющие собой сложные системы, приуроченные к долгоживущим вулканическим центрам, которые обладают единой глубинной областью магматического и теплового питания. Такие вулканические центры, по мнению ряда исследователей (Федорченко и др., 1989), возникают над подводящими каналами, мигрирующими во времени, на ограниченной территории, в результате долговременной вулканической и гидротермальной активности.

Долгоживущие вулканические центры имеются и в пределах хр. Вернадского. Здесь они проявляли свою активность независимо друг от друга и действовали в течение всего плейстоцена и голоцена (около 1 млн лет). Один из них существует в северной части этого хребта. К нему приурочена деятельность некоторых вулканов как в прошлом, так и в нынешнем времени.

Самая северная часть хр. Вернадского начинается из тесно слившихся между собой построек двух вулканов центрального типа – Ветрового и Влодавца, южнее к ним примыкает действующий влк. Эбеко и затем следует целый ряд молодых и древних вулканов (см. рис. 1). Заканчивается хребет одноименным влк. Вернадского.

Вулканы хр. Вернадского сложены молодыми постледниковыми лавами двупироксеновых андезитов или андезибазальтов, иногда с оливином (Горшков, 1967). Они образуют крупную протяженную вулкано-тектоническую структуру, в недрах которой в течение длительного времени происходила миграция магматического расплава андезибазальтового состава (Белоусов и др., 2002).

Вулкан Влодавца. С юго-запада к влк. Ветровой примыкают разрушенные древние вулканические образования в верховьях рр. Юрьева и Горшкова, рассматриваемые ранее как часть постройки влк. Эбеко. Но по данным из работы (Опыт..., 1966) было установлено, что это крупная доледниковая самостоятельная вулканическая постройка (Q_1-Q_2 ?). Об этом свидетельствовали периклинальный характер залегания пород, наблюдаемых в верховьях р. Юрьева, и частично г. Зеленая, а также наличие лавовых потоков, сложенных ожелезненными, пиритизированными оливин-двупироксеновыми андезитами и спускающихся в сторону Охотского моря.

Видимый разрез влк. Влодавца общей мощностью около 350 м чередуется перекрытием излившихся лавовых потоков вулканов, в которых нередко встречаются зерна оливина (Опыт..., 1966). Лавовые потоки разделены между собой опализированными агломератами мощностью 8–10 м. Самой верхней в этом разрезе является 20–25-метровая толща крупноглыбовых андезитов (или лавовых брекчий), формирующихся в районе седловины на междуречье Юрьева и Зеленая, мощностью до 100 м (Белоусов и др., 2002).

В период оледенения этот вулкан был сильно разрушен ледниками. В настоящее время остатки этой вулканической постройки представляют собой обширную неправильную котловину диаметром до 2 км, примыкающую с запада к современному влк. Эбеко и служащую верховьями р. Юрьева. Вулкан характеризуется наличием даек и некков с окружающими их гидротермальноизмененными породами.

Южнее по линии хр. Вернадского расположены группы вулканических (построек) центров, имеющих линейно-гнездовое расположение. В связи с этим вулканы хр. Вернадского объединяются в группы, одной из которых является группа влк. Эбеко. Это самая молодая группа, объединяющая три вулкана: Эбеко, Неожиданный, Незаметный, расстояние между которыми колеблется до 1–2 км (Горшков, 1967).

Вулкан Эбеко – действующий вулкан сложного строения типа «Сомма-Везувий», который приурочен к крупной зоне разломов северо-западного простирания. Это единственный действующий вулкан в хр. Вернадского. Центральный конус имеет три соприкасающихся боковых эксплозивных кратера. Наивысшая точка вулкана – 1137 км.

Известны извержения вулкана Эбеко 1793, 1895, 1934–1938, 1967–1971, 1987–1991, 2009 гг. (Горшков, 1954; Меняйлов и др., 1992; Мелекесцев и др., 1993; Котенко и др., 2007). Последние извержения вулкана имели в основном вид фреатических взрывов, причиной чему могли послужить инъекции магматических эманаций в высокотемпературную гидротермальную систему, размещенную в недрах хр. Вернадско-

го. Лавы вулкана имеют преимущественно андезибазальтовый и реже андезитовый состав с редко встречающимися оливинами (Горшков, 1967). В настоящее время вулкан сохраняет высокую активность, заключающуюся в периодических выбросах резургентного пепла на фоне интенсивной фумарольной деятельности. Высота парогазовых выбросов достигает 200-300 м и более (Котенко и др., 2007). Основная поверхностная разгрузка тепла здесь осуществляется через три крупных вершинных кратера и по долинам рр. Юрьева, Горшкова и Кузьминка. Возможно, фреатические взрывы стимулируются скрытыми инъекциями магматических эманаций в высокотемпературную гидротермальную систему, размещенную в недрах хр. Вернадского.

Конус Неожиданный расположен в 1,5 км к юго-западу от влк. Эбеко. В целом влк. Неожиданный представляет собой, по меньшей мере, двухактное сооружение. Деятельность обоих конусов характеризовалась преобладанием лавовых излияний, а взрывная деятельность имела подчиненное значение.

Гидротермально-магматическая система влк. Эбеко

Северная часть о. Парамушир образована хр. Вернадского, которому пространственно соответствует крупная Северо-Парамуширская гидротермально магматическая система (Рычагов и др., 1999). Это типичная островодужная гидротермальная система, сопряженная с андезитовым вулканизмом.

Она условно разделена на три блока, каждому из которых соответствует группа современных вулканических центров: Эбеко, Богдановича и Вернадского (см. рис. 1). Вулканические центры отличаются друг от друга степенью вулканической активности, развитием гидротермальных процессов, наличием вулканических образований и др. (Горшков, 1967). Несмотря на то что о. Парамушир является наиболее изученным островом Большой Курильской гряды, комплексных исследований здесь в полной мере не проводилось. На сегодня еще недостаточно сведений о глубинном строении, развитии и деятельности Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы в целом.

Ранее один из авторов этой работы пытался рассмотреть глубинное строение одного из блоков Северо-Парамуширской гидротермальномагматической системы (Рычагов и др., 1999) – вулканического центра Богдановича (Хубаева, 2017).

В настоящей работе рассматривается глубинное строение вулканического центра Эбеко, также входящего в состав Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы. В недрах этой вулканической постройки имеется гидротермально-магматическая система со свойственными таким системам латеральными стоками термальных вод, большим количеством различных поверхностных гидротермальных проявлений, источниками теплового питания.

На базе обобщенных данных мы построиконцептуальную модель гидротермально-ЛИ магматической системы вулканической постройки Эбеко. Модель представляет собой геологический профиль, построенный по линии А-Б (устье р. Юрьева – влк. Влодавца – влк. Эбеко – влк. Неожиданный – скв. ГП-3 – р. Городская – плато Аэродром). На схеме глубинного строения гидротермально-магматической системы влк. Эбеко (рис. 2) показаны комплексы горных пород, участки гидротермально-измененных пород, разгружающихся термальных источников и фумарол, зона самоизоляции гидротермальной системы, разломные зоны, циркуляция метеорных и глубинных вод, водоносные горизонты, температурный режим гидротермальной системы, зона латерального стока, магматический источник тепла.

Основой для построения этой схемы послужили данные по опорной скв. ГП-3 (глубиной 2500 м), пройденной у подножья влк. Эбеко (Рычагов и др., 2002), а также некоторые данные по строению влк. Влодавца и Эбеко и гравимагнитному профилю через о. Парамушир в субширотном направлении (Опыт..., 1966).

Температуры. Авторы не обладают необходимой информацией для определения температурного режима на глубине гидротермальномагматической системы вулканического центра Эбеко. Температуры в пределах развития системы нанесены согласно имеющимся на сегодня данным (см. рис. 2). В интервале 750–1650 м согласно данным по вторичной минерализации этой скважины температуры составляли от 180 до 300°С, а в интервале 1650-2500 м, исходя из данных по минералообразованию, они находились в пределах 180-200, 250-270°С и, возможно, около 300°С. В зоне кипения, приходящейся на интервал 750-1200 м, происходило резкое колебание и снижение температур до 130-180°С (Рычагов и др., 2002). Максимально измеренные температуры на Июньском фумарольном поле в 2010 г. составляли 400°С.

Типы вод. Развитие гидротермально-магматической системы влк. Эбеко предопределяет островное положение территории на стыке материковой и океанической областей, широкое развитие вулканогенных формаций и явления активного современного вулканизма.



Рис. 2. Схема глубинного строения гидротермально-магматической системы влк. Эбеко: 1 – интрузивные тела; 2 – инфильтрационные воды (питание гидротермально-магматической системы); 3 – граница депрессионной воронки высокотемпературных хлоридных вод; 4 – крупные разломы и разрывные нарушения; 5 – термальные источники; 6 – фумаролы; 7 – минеральный газо-гидро-геохимический барьер; 8 – интрузивно-субвулканический комплекс (диориты-микродиориты) ($N_1^{3} - N_2$); 9 – газопаровые струи. Вставка (скважина ГП-3): 1 – лавы андезитов (Q_4); 2 – лавы андезитов (Q_3); 3 – туффиты мелко-, тонкообломочные, переслаивающиеся с туфами (N_2); 4 – туфы псефитовые андезитовые (N_{1-2}); 5 – туфы интрузивные; 6 – лавы (дайки, силлы) андезибазальтов

Fig. 2. Deep structure outline of the Ebeko hydrothermal system: $1 - injected intrusives; 2 - infiltration waters (hydrothermal-magmatic system feeding); 3 - boundary of a depression pit of high temperature chloride; 4 - large faults and discontinuous faults; 5 - thermal springs; 6 - fumaroles; 7 - mineral gas-hydro-geochemical barrier; 8 - intrusive-subvolcanic complex (diorites-microdiorites) (<math>N_1^3 - N_2$); 9 - steam-and-gas jets. **Inset (borehole GP-3):** 1 - andesite lavas (Q_4); 2 - andesite lavas (Q_3); 3 - cryptoclastic tuffites interlayered with tuffs (N_2); 4 - psephite andesite tuffs; (N_{12}); 5 - intrusive tuffs; 6 - lavas (dykes, sills) of andesite-basalts

Питание подземных вод на острове обильное и довольно устойчивое в силу большого количества атмосферных осадков, выпадающих в виде дождей и снега. В результате частых туманов немалую роль в питании грунтовых вод играют конденсационные процессы в открытых трещинах и пористых пространствах зоны аэрации.

Количество ювенильных вод по оценкам многих исследователей в среднем составляет 4–5% от веса магматических продуктов (Арсанова, 1969). Однако, согласно некоторым исследователям (Арсанова, 1969; Ellis, 1959), глубинные флюиды, выделяющиеся из магмы, могут иметь инфильтрационный генезис.

Помимо инфильтрационного питания, подземные воды находятся под воздействием морских вод окружающих акваторий. По данным скважины ГП-3 в интервале 1650–2500 м увеличивается частота встречаемости ангидрита, который запол-

няет трещины и пустоты. По мнению С. Н. Рычагова (Рычагов и др., 2002), массовое развитие ангидрита происходит в зоне смешения высокотемпературных растворов хлоридно-натриевого состава с морской водой. Однако результаты изотопического исследования подобной гидротермальной системы на о. Уайт (Giggenbach et al., 1989) не свидетельствуют о присутствии морской воды в гидротермальной системе. Гигенбах с соавторами считают это следствием образования химически изолированной зоны на внешней стороне гидротермально-магматической системы, причиной является отложение ангидрита и кальцита из нагретой морской воды, за счет кондуктивного теплового потока от гидротермальной системы. Зона изоляции (см. рис. 2) предотвращает от притока морской воды и ограничивает от смешения магматических и метеорных вод.

К сожалению, на этом этапе исследования авторы не имеют данных изотопного состава циркулирующих вод в гидротермальной системе Эбеко, а потому не считают возможным с уверенностью говорить о наличии или отсутствии морской воды в системе.

Однако действующие вулканы в периоды извержений могут играть активную роль в «засасывании» морских вод в толщи горных пород, а высокое содержание **Мд в некоторых термальных ис**точниках (см. таблицу) может свидетельствовать о присутствии морской воды в гидротермальномагматической системе влк. Эбеко.

Основные водоносные комплексы Курильских островов формируются в соответствии с их многоярусным строением. Литология и тектоника определяют развитие пластово-трещинных, трещинных и трещинно-жильных напорных вод.

Трещинные воды связаны с зонами разломов, большей частью северо-восточного простирания (см. рис. 2; 3), разгружаются в прибрежных участках. Они образуют водоносные системы в верхних частях интрузий и экструзий и в окружающих их вулканогенных породах. Благодаря связи с корневыми частями вулканов воды неогенового фундамента Курильских островов часто термальные или высокотемпературные (> 100°C).

В гидротермально-магматической системе влк. Эбеко циркулируют два типа подземных вод поверхностного и глубинного формирования. Воды первого типа – источники Лагерные и р. Горшкова, второго – пластовые воды, циркулирующие в пирокластических отложениях вулканической постройки Эбеко. По классификации В. В. Иванова (1965) они относятся к кислым сероводородно-углекислым термам, отличающимся высокими температурами, сульфатнохлоридным анионным и пестрым катионным составами, с низкими значениями рН. Также на вулкане существуют два подтипа сероводородноуглекислых вод: фумарольные термы поверхностного формирования и фумарольные термы глубинного формирования.

1. Первые из них распространены в верхних горизонтах вулканических построек. Это инфильтрационные воды, насыщенные магматическими эманациями и обогащенные SO_4 (за счет окисления H_2S и SO_2). К ним относятся воды, разгружающиеся в районе руч. Лагерный (см. рис. 3).

2. Термы второго подтипа образуются в глубинной зоне вулканической постройки Эбеко. Это пластово-трещинные, высокоминерализованные кислые воды хлоридно-сульфатного состава, насыщенные магматическими эманациями. К ним относятся термальные источники, разгружающиеся в истоках и средней части р. Юрьева. Они приурочены к частично разрушенной древней постройке влк. Влодавца (см. рис. 1, 2).

Оба типа / подтипа вод циркулируют в зоне интенсивного водообмена, приуроченной к вулканическому аппарату Эбеко*.

Латеральный сток. На схеме глубинного строения гидротермально-магматической системы влк. Эбеко (см. рис. 2) показана зона латерального потока: вершинная часть влк. Эбеко – северо-западный склон бассейна р. Юрьева.

Поступление высокотемпературных гидротерм привело к формированию зоны восходящего теплового потока, приуроченного к центральной части системы (влк. Эбеко, осевая часть хр. Вернадского) и образованию латеральных потоков, что характерно для островодужных гидротермальномагматических систем (Henley, Ellis, 1983).

Верхне-Юрьевские источники пространственно совпадают с доледниковой постройкой влк. Влодавца. Выходы Верхне-Юрьевских источников приурочены к пересечению крупных разрывных нарушений северо-восточного и северо-западного простирания (Хубаева и др., 2007). Их химический состав, идентичный составу ручья, дренирующего участок внешнего северо-восточного склона влк. Эбеко (Калачева, 2011), указывает на существование здесь латерального потока.

Данные буровых скважин (П-1, П-2), пробуренных в Северо-Парамуширской гидротермальной системе, также указывают на присутствие мощного латерального горизонта бикарбонатных терм** и, как следствие, на наличие восходящего потока CO₂ в системе. Это подтверждается и присутствием CO₂ в парогазовых струях привершинной части влк. Эбеко (Kalacheva et al., 2016).

Известно, что углекислый газ после воды является наиболее распространенным вулканическим компонентом и играет важную роль в формировании гидротермальных растворов (Hedenquist, Houghton, 1987).

Считается, что большая часть CO₂ выделяется из интрузивной магмы, так как вулканы выделяют значительно больше CO₂, чем могут произво-

^{*}Перспективы использования высокотемпературных гидротермальных систем в областях современного вулканизма для захоронения жидких радиоактивных отходов и других вредных веществ : отчет. – П.-Камчатский, 1992.

^{**}Мониторинг сейсмичности, вулканов, цунами, экзогенных процессов (оползни, обвалы, сели), геотермальных систем и детальное сейсмическое районирование в зонах промышленного и сельскохозяйственного освоения Курильских островов, оценка опасных последствий : отчет. – П.-Камчатский, 2001.

				T, ⁰C		Химический				
Место отбора проб воды	Дата отбора	Номер пробы	Вид водо- проявления		рН	$\mathrm{H}^{\scriptscriptstyle+}$	Na ⁺	K^+	Ca ²⁺	
М. вода 2-го Курильского пролива	24.12.2001	ОМ	М. в.	2	7,4	_	9333	436	372,1	
р. Юрьева (устье)*	15.09.2010	12	Русло	44,3	1,57	33,89	195,50	104,20	296,59	
Верхне-Юрь- евские источ- ники*	14.09.2010	13	Ист.	7,5	3,48	0,36	10,35	3,43	20,04	
	14.09.2010	11	Ист.	57,8	1,66	27,25	206,99	118,00	376,75	
	14.09.2010	10	Ист.	23,7	2,12	9,22	80,50	49,80	128,26	
	14.09.2010	9	Ист.	64,8	1,53	36,71	238,36	135,00	416,83	
	14.09.2010	7/1	Ист.	87,4	1,27	76,30	296,90	147,20	480,96	
	14.09.2010	6	Ист.	42,8	1,76	21,65	157,17	92,00	224,45	
р. Юрьева (исток)*	13.09.2010	2	Ручей	8,0	3,82	0,16	8,24	2,00	18,04	
влк. Эбеко	30.08.2001	Э-105	Котел	97,5	0,50	390,10	48,00	43,30	110,00	
	30.08.2001	К-104	Ручей	_	0,55	348,10	61,80	49,70	72,10	
	30.08.2001	ЭК-5	Ручей	77	2,85	1,80	333,50	87,00	585,20	
р. Кузьминка	23.08.2001	К-18	Русло	10,0	2,94	—	9,70	2,70	24,00	
	23.08.2001	К-21	Ист.	11,0	3,04	—	7,90	2,10	19,20	
	23.08.2001	К-24	Русло	7,0	3,16	—	6,40	1,70	13,60	
р. Городская	27.08.2001	Г-17	Ист.	11,0	3,16	_	17,20	4,70	60,00	
	27.08.2001	Г-23	Ист.	5,0	4,69	_	9,00	2,50	16,20	
	27.08.2001	Г-26	Русло	6,0	4,93	_	9,10	2,60	18,20	
Плато Аэро- дром	23.08.2001	Pa-4	Разгр.	5,6	5,80	_	6,70	1,00	4,60	
2-й Курильский пролив	24.12.2001	2КП	М. в.	2,5	7,40	_	9333,00	436,00	372,10	

Химический состав вод, разгружающихся на поверхности, вдоль субширотного профиля A–Б Chemical composition of surface waters along the sublatitudinal A–Б profile (Paramushir Island, Kuriles)

Примечание. Анализы выполнены в аналитическом центре Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, н. о. – не определялось; М. в. – морская вода.

дить извергаемые ими магматические расплавы. Миграция CO_2 в водоносном комплексе контролируется газо-водоупорными породами вокруг гидротермально-магматических систем, которые наклонены от центра к периферии. Пузырьки CO_2 поднимаются вдоль границ этих пород, объединяются в струи и способствуют кипению гидротерм в вертикальной колонне над апикальной частью магматического тела (Hedenquist, Houghton, 1987).

Хеденквист и Браун (Hedenquist, Browne, 1989) для гидротермальной системы Охааки – Бродлэнс в Новой Зеландии показали, что углекислота начинает переходить из раствора в газообразную фазу на глубине более 2000 м. При этом образование пузырьков провоцирует процесс кипения на большей глубине, чем расчетная глубина парообразования чистой воды, определенная по гидростатическому давлению. Растворенный газ сильно воздействует на общее давление, увеличивая глубину температуры парообразования. В работе Хеденквиста и Брауна (Hedenquist, Browne, 1989) это демонстрируется с помощью кривых для 1,0 и 4,4 вес. % (1,0 моляльный) СО₂, при температуре 300°С СО₂ является преобладающим газом в эпитермальных системах.

Он составляет 80–90% от общего содержания газов, в связи с чем он учитывается в расчетах.

По мере того как гидротермы при температуре 300°С с 4,4 вес. % (1 моль) CO_2 поднимаются (приблизительно верхний предел CO_2 , отмеченный в эпитермальной системе (рис. 4)), они начинают кипеть на глубине около 2300 м. Как только образуется паровая фаза, из жидких гидротерм будут интенсивно выделяться в парогазовую фазу CO_2 и все другие летучие (т. н. H_2S , H_2 , CH_4 , N_2 и т. д.); этот процесс деталь-

(о. Парамушир, Курильские острова)

состав, мг/л (mg / l)										
Mg ²⁺	Fеобщ.	Al ³⁺	Cl	SO ₄ ²⁻	HSO ₄ -	HCO ₃ -	F-	H ₃ B ₃	H ₄ SiO ₄ общ.	Минера- лизация
1282	_	_	17872	2345	_	_	_	_	_	31,799
150,78	215,50	369,10	1985,80	3513,87	719,71	0,00	1,52	37,09	374,60	7998,15
12,16	0,10	18,52	18,44	122,96	2,04	0,00	0,10	0,05	94,52	303,07
175,10	223,40	476,30	2021,20	3046,06	1677,30	0,00	0,56	39,56	395,00	8783,47
60,80	89,45	207,71	726,93	1497,58	428,36	0,00	1,90	13,60	222,60	3516,71
131,33	237,35	508,00	2269,40	3047,98	2259,19	0,00	0,76	39,56	435,60	9756,07
9,00	349,06	521,70	3439,60	3228,58	3920,80	0,00	5,76	54,40	550,60	13080,86
111,14	134,05	304,30	1267,70	2097,95	1179,74	0,00	6,80	12,36	285,80	5895,11
9,73	0,10	1,58	9,93	115,30	Н. О.	0,00	0,10	0,10	63,56	228,84
24,30	106,00	231,30	16134,00	9798,00	Н. О.	0,00	_	—	Н. О.	26885,0
46,20	159,20	222,80	8733,00	29,10	63,90	0,00	_	—	Н. О.	9785,90
685,80	82,10	25,70	3195,00	787,70	Н. О.	0,00	_	_	Н. О.	5783,80
5,80	Н. О.	13,00	70,00	160,40	Н. О.	0,00	_	_	88,20	373,80
5,40	Н. О.	9,50	52,50	126,80	Н. О.	0,00	_	_	63,20	286,60
7,80	н. о.	8,60	40,40	99,80	н. о.	0,00	_	_	63,40	241,70
18,10	Н. О.	12,20	43,60	255,40	Н. О.	0,00	_	_	97,30	512,00
5,00	Н. О.	2,70	12,00	76,80	Н. О.	3,70	_	_	77,80	205,70
11,00	Н. О.	1,90	12,00	76,80	Н. О.	5,90	-	_	73,70	211,20
0,80	Н. О.	1,00	12,10	5,70	Н. О.	16,50	_	_	31,30	79,70
1282,00	Н. О.	_	17872,00	2345,00	_	_	_	_	_	31640,10

г. Петропавловск-Камчатский. Аналитик О. В. Шульга; звездочка – Калачева, Котенко, 2013; прочерк – нет данных;

но обсуждался в работах (Giggenbach, 1981; Henley et al., 1984; Drumnond, Ohmoto, 1985).

Опираясь на эти данные, а также на данные скважины ГПЗ, где зона перехода жидкость – пар выделяется в интервале 750–1650 м (Рычагов и др., 2002), авторы выделяют границу зоны парообразования в гидротермальной системе влк. Эбеко на глубине приблизительно 2000–1500 м.

Таким образом, не исключено, что тепловое питание гидротермальных систем в этом районе определяется магматическими инъекциями (дайками).

Тепловое питание гидротермальномагматической системы влк. Эбеко

На основе изучения топографической карты о. Парамушир были выявлены линейные разрывные нарушения северной части острова, а также крупные радиально-кольцевые структуры, выраженные в рельефе (Хубаева и др., 2007), важнейшими из которых являются радиально-кольцевые структуры влк. Ветровой, Козыревского и др.

В районе г. Ветровая (см. рис. 3) во время полевых работ были откартированы системы даек, приуроченные к разломам северо-западного простирания. Дайки, зоны сгущения некков, а также цепочка сложно построенных вулканических центров с кальдерами (влк. Эбеко, Козыревского) и стратовулканы располагаются вдоль субмеридиональной зоны разломов, чаще всего в участках ее пересечения с разломами северо-западного и северо-восточного простираний.

Длительное поступление к поверхности магматических расплавов андезибазальтового состава поддерживало высокий уровень активности вулканов северной части хр. Вернадского, которая завершилась заложением наиболее молодых



Рис. 3. Карта разрывных нарушений северной части о. Парамушир, выявленных по геоморфологическим данным: 1 – предполагаемые разрывные нарушения; 2 – сдвиги; 3 – грабенообразные впадины; 4 – вулканические постройки (а – действующие, б – потухшие); 5 – границы кальдер; 6 – секторы локальных растяжений; 7 – источники (а – термальные, б – холодные); 8 – интрузивные образования (а – дайки, б – некки); 9 – потухшие фумарольные поля; 10 – воронки взрыва; 11 – скважина; 12 – геологический профиль

Fig. 3. Map of discontinuous faults in the northern part of Paramushir Island revealed by geomorphological data: 1 – assumed faults; 2 – thrust faults; 3 – graben-like depressions; 4 – volcanic edifices (*a* – active, δ – extinct); 5 – caldera boundaries; 6 – zones of local extensions; 7 – springs (*a* – thermal, δ – cold); 8 – intrusive formations (*a* – dykes, δ – necks); 9 – extinct fumarolic fields; 10 – explosion funnels; 11 – borehole; 12 – geological profile

из них – Эбеко и Неожиданный, вулканическая деятельность которых сохраняется по настоящее время. Вулкан Эбеко особо выделяется частыми фреатическими извержениями, причиной чему могут быть скрытые инъекции магматического материала. Известно, что средняя глубина магматических очагов под Северо-Курильскими островами составляет примерно 2000–2500 м (Сергеев, 1976). Предполагается также, что главным источником теплового питания гидротермальных полей в районе влк. Эбеко служит мощный силлодайковый комплекс, расположенный на глубине примерно 1 км ниже уровня моря (Новейший..., 2005). По данным опорной скважины ГП-3, породы в интервале 1650–1700 м представлены базальт-габбро-базальтами, и на основании этого предполагается, что это силл или серия даек (Рычагов и др., 2002).

На наличие близповерхностного магматического резервуара указывает большое содержание CO_2 в системе (Kalacheva et al., 2016). Аллард в своей работе (Allard, 1992) полагает, что большая часть CO_2 поступает из скрытых магматических резервуаров (интрузивной магмы) и очагов в результате их остывания.

В пределах хр. Вернадского фиксируется большое количество взрывных воронок, которые могут указывать на наличие интрузивных образований на глубине, а также даек и некков. В районе вулканического центра Эбеко эти структуры обычно тяготеют к разломам северовосточного простирания (см. рис. 3). Один из крупных некков (500 × 250 м), сложенный андезитами, расположен в районе слияния двух вершинных притоков р. Юрьева. К этому некку приурочена интенсивная современная гидротермальная деятельность – Верхне-Юрьевские горячие источники. На спуске от котловины (в левое верховье р. Юрьева) в 80-х гг. прошлого столетия еще отмечались прогретые площадки с остатками слабой фумарольной деятельности (Т = 40-45°С). Затронутые гидротермальными изменениями того же, но более кислого состава некки отмечены и в среднем течении левого притока р. Юрьева. Примерно в этом же месте были отмечены слоистые осадочные образования, напоминающие кратерно-озерные отложения, что говорит о расположении здесь еще одного, более позднего побочного кратера. Таким образом, некки представляются основной геологической структурой, обеспечивающей тепловое питание Верхне-Юрьевских источников.

Современные гидротермально-магматические системы вулканических областей сопряжены с сетью даек, экструзий. Примером этому служат многие гидротермальные системы Исландии, Камчатки, Курильских островов, где дайки зачастую являются главной структурой, по которой происходит перенос вещества и тепла (Белоусов, 1978; Gudmundsson, 1995). Это подробно освещено и в работе Деккера (Decker, 1987), который предполагает, что магма из неглубоко располо-



Рис. 4. Кривые кипения для чистой воды и растворов, содержащих 1,0 и 4,4 вес.% CO_2 при температуре 300°С (Haas, 1971)

Fig. 4. Boiling curves for pure water and solutions containing 1.0 and 4.4 wt. % CO, at 300°C (Haas, 1971)

женных резервуаров периодически разгружается по дайкам, причем интрузия, внедряющаяся наклонно к более ранней дайке, как правило, изменяет направление и следует по ее границе. В результате доля магматических инъекций, следующих по границам ранних даек, становится существенно больше, чем по дайкам, мигрирующим по новым путям.

Таким образом, дайка, хоть и является маломощной дреной, но, благодаря частым инъекциям свежего магматического материала, может длительное время обеспечивать тепловое питание гидротермально-магматической системы.

Такое предположение подтверждается и присутствием оливина в породах интрузивных тел вулканических комплексов хр. Вернадского (Федорченко, 1989), так как присутствие этого минерала в породах говорит о том, что магматические расплавы к этим группам вулканов поступали с уровней верхней мантии (Anderson, 1976).

Можно предположить, что тепловое питание на Эбеко происходит в основном по магматическим каналам при помощи трансмагматических флюидов (Коржинский, 1952), т. е. по системе малых интрузий типа даек, где тепловой поток дренируется с большой скоростью по магматическому расплаву, который обусловлен большим термическим градиентом в этой плоской малообъемной структуре (Коржинский, 1952).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Построена концептуальная модель гидротермально-магматической системы действующего влк. Эбеко на основе использования данных по гидротермальным изменениям пород; химическому составу разгрузок минерализованных термальных вод р. Юрьева; геологии и гидрогеологии скважин П-1, П-2, ГП-3, а также по тектонике разломных зон северной части о. Парамушир.

При внимательном изучении всех имеющихся данных авторы пришли к заключению, что большое количество взрывных воронок и интрузивных тел (некки, дайки) в северной части хр. Вернадского, присутствие оливина в породах интрузивных тел вулканических комплексов хр. Вернадского, большое содержание СО₂ в гидротермально-магматической системе, частые фреатические извержения влк. Эбеко могут указывать на наличие близповерхностного магматического резервуара. Не исключено, что тепловое питание гидротермальных систем в этом районе связано с переносом тепла из глубинных частей земной коры, трансмагматическими флюидами, дренирующимися по магматическим расплавам в системе малых интрузивных тел (даек).

Авторы признательны к. г.-м. н. В. И. Белоусову, чьими консультациями и советами авторы постоянно пользовались; благодарят к. г.-м. н. Е. И. Сандимирову за участие и помощь при выполнении работы; д. г.-м. н. С. Н. Рычагова за поддержку в полевых исследованиях; д. г.-м. н. А. Ю. Озерова за консультации и помощь при составлении схем.

ЛИТЕРАТУРА

Арсанова Г. И. Редкие щелочи в воде кратерного озера влк. Эбеко после извержения 8 августа 1965 г. : Материалы I городской конф. молодых ученых и специалистов. – П.-Камчатский : Камчат. правда, 1969.

Белоусов В. И. Геология геотермальных полей в областях современного вулканизма. – М. : Наука, 1978. – 176 с.

Белоусов В. И., Белоусова С. П. Природные катастрофы и экологические риски (на примере развития геотермальной энергетики). – П.-Камчатский : КГПУб, 2002. – 160 с.

Белоусов В. И., Рычагов С. Н., Сугробов В. М. Северо-Парамуширская гидротермально-магматичес кая система: геологическое строение, концептуальная модель, геотермальные ресурсы // Вулканология и сейсмология. – 2002. – № 1. – С. 34–50.

Горшков Г. С. Вулканизм Курильской островной дуги. – М. : Наука, 1967. – 270 с.

Горшков Г. С. Хронология извержений вулканов Курильской гряды (1713–1952 гг.) // Тр. ЛВ. – 1954. – Вып. 8. – С. 58–99.

Иванов В. В. Гидротермы Курило-Камчатской вулканической зоны. – М., 1965. – 39 с.

Калачева Е. Г. Условия формирования Верхне-Юрьевских термальных вод (о. Парамушир) : Материалы регион. конф. «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящ. Дню вулканолога, 30 марта – 1 апр. 2011 г. – П.-Камчатский : ИВиС ДВО РАН, 2011. – 176 с.

Калачева Е. Г., Котенко Т. А. Химический состав вод и условия формирования Верхне-Юрьевских термальных источников (о. Парамушир, Курильские острова)// Вестник КРАУНЦ. – 2013. – № 2. – Вып. 22. – С. 55–68. Котенко Т. А., Котенко Л. В., Шапарь В. Н. Активизация влк. Эбеко в 2005–2006 гг. (остров Парамушир, Северные Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. – 2007. – № 5. – С. 1–11.

Коржинский Д. С. Гранитизация как магматическое замещение // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1952. – № 2. – С. 56–69.

Леонов В. Л. Оценка перспективности района г. Северо-Курильска на термальные воды : отчет. – П.-Камчатский, 1990. – 33 с.

Леонов В. Л. Перспективы использования высокотемпературных гидротермальных систем в областях современного вулканизма для захоронения жидких радиоактивных отходов и других вредных веществ : отчет. – П.-Камчатский, 1992. – 307 с.

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.

Меняйлов И. А., Никитина Л. П., Будников В. А. Активность влк. Эбеко в 1987–1991 годах. Характер извержений, особенности их продуктов, опасность для г. Северо-Курильска // Там же. – 1992. – № 6. – С. 21–33.

Новейший и современный вулканизм на территории России / отв. ред. Н. П. Лаверов; Ин-т физики Земли им. О. Ю. Шмидта. – М. : Наука, 2005. – 255 с.

Опыт комплексного исследования района современного и новейшего вулканизма (на примере хр. Вернадского, о. Парамушир) / отв. ред. С. И. Набоко. – Ю.-Сахалинск, 1966. – С. 3–204.

Рычагов С. Н., Белоусов В. И., Главатских С. Ф. и др. Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая система: характеристика глубокого геологического разреза и модель современного минералорудообразования в ее недрах // Вулканология и сейсмология. – 2002. – № 4. – С. 1–19.

Рычагов С. Н., Белоусов В. И., Словцов И. Б. и др. Гидротермально-магматические системы островных дуг: эволюция геолого-гидрогеотермической структуры, гидротермальный метаморфизм, механизмы функционирования, рудообразование (Результаты и программа исследований) // Современный вулканизм и связанные с ним процессы. – П.-Камчатский : ИВ ДВО РАН, 1999. – С. 96–99.

Сергеев К. Ф. Тектоника Курильской островной системы. – М. : Наука, 1976. – 240 с.

Федорченко В. И., Абдурахманов А. И., Родионова Р. И. Вулканизм Курильской островной дуги: геология и петрогенезис. – М. : Наука, 1989. – 238 с.

Хубаева О. Р. Морфоструктурный анализ района долины реки Паратунка по данным морфометрических методов // Вестник КРАУНЦ. – 2003. – № 1. – С. 54–62.

Хубаева О. Р. Роль даек в тепловом питании гидротермальной системы влк. Богдановича (о. Парамушир, Курильские острова) // Тихоокеан. геол. – 2017. – Т. 36, № 2. – С. 32–43.

Хубаева О. Р., Брянцева Г. В., Сим Л. А. Новейшие деформации северной части острова Парамушир : Материалы XI тект. совещ. «Фундаментальные проблемы геотектоники». – М. : ГЕОС, 2007. – Т. 1. – С. 109–111.

Allard P. Diffuse degassing of carbon dioxide through volcanic systems: observed facts and implications // Report Geol. Sur. of Japan. – 1992. – P. 7–11.

Anderson A. T. Magma mixing: petrological process and volcanological tool // Jour. Geothermal Res., June. – 1976. - Vol. 1. - Is. 1. - P. 3-33.

Decker R. W. Dynamics of Hawaiian volcanoes: an overview // Volcanism in Hawaii : U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. 1350. United States Government Printing Office. – Washington DC. – 1987. – P. 997–1018.

Drummond S. E., Ohmoto H. Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal systems // Econ. Geol. – 1985. – 80. – P. 126–147.

Ellis A. J. The solubility of calcite in carbon dioxide solutions // American Journal of Science. – 1959. – Vol. 257. – P. 354–365.

Giggenbach W. F. Geothermal mineral equilibria // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1981. – 45. – P. 393–410.

Giggenbach W. F., Hedenquist J. W., Houghton B. F. et al. Research drilling into the volcanic hydrothermal system on the White Island. – New Zealand, 1989. – Vol. 70. – P. 98–100, 108–109.

Gudmundsson A. Infrastructure and mechanics of volcanic systems in Iceland // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 1995. – 64. – P. 1–22.

Поступила в редакцию 22.11.2017 г.

Haas J. L. The effect of salinity on the maximum thermal gradients of a hydrothermal system at hydrostatic pressure // Econ. Geol. – 1971. – 66. – P. 940–946.

Hedenquist J. W., Browne P. R. L. The evolution of the Waiotapu geothermal system, New Zealand, based on the chemical and isotopic composition of its fluids, minerals and rocks // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1989. – 53. – P. 2235–2257.

Hedenquist J. W., Houghton B. F. Epithermal gold mineralisation and its volcanic enviroments. Taupo volcanic zone. – New Zealand, 15–21 November, 1987. – 395 p.

Henley R. W., Ellis A. J. Geothermal systems ancient and modern: a geochemical review // Earth Sci. Rev. – 1983. – Vol. 19. – P. 1–50.

Henley R. W., Truesdell A. H., Barton P. B., Jr., Whitney J. A. Fluid-mineral equilibria in hydrothermal systems. Society of Economic Geologists Reviews in Economic Geology. – 1984. – Vol. 1. – 267 p.

Kalacheva E., Taran Y., Kotenko T. et al. Volcano-hydrothermal system of Ebeko volcano, Paramushir, Kuril Islands: Geochemistry and solute fluxes of magmatic chlorine and sulfur // Journal of Volcanology and Geothermal Research 310. – 2016. – P. 118–131.

THERMAL FEEDING OF THE EBEKO VOLCANO GEOTHERMAL-MAGMATIC SYSTEM (Paramushir Island, the Kuriles)

O. R. Khubayeva, A. G. Nikolayeva

The conceptual model of hydrothermal-magmatic system of the active Ebeko volcano was developed using the data on hydrothermally altered rocks, chemical composition of mineralized thermal waters discharge, geology and hydro-geology of P-1, P-2, GP-3 bore-holes, and tectonics of fault zones in the northern part of Paramushir Island (Kurile Islands). The model was based on a 2500-meter deep key geological section of borehole GP-3. Thermal feeding of the hydrothermal-magmatic system within the Ebeko volcano relates to the magmatic injections along the dyke development network.

Keywords: island-arc hydrothermal systems, magmatic chambers, dykes, thermal feeding of hydrothermal systems, hydrothermal-magmatic system, conceptual model, Paramushir Island, Ebeco volcano.

REFERENCES

Arsanova, G. I., 1969, Rare Alkalies in the Water of Ebeko Crater Lake After Volcanic Eruption, August 8, 1965: «Materials of the 1st City Conf. Young Scientists and Specialists». P.-Kamchatsky : Kamchatskaya Pravda [In Russian].

Belousov, V. I., 1978, Geology of Geothermal Fields in the Areas of Modern Volcanism, M. : Nauka [In Russian].

Belousov, V. I., Belousova, S. P., 2002, Environmental Catastrophes and Ecological Risks (as Exemplified by Geothermal Industry development), P.-Kamchatsky : KG-Bub [In Russian].

Gas Hydrotherms of Active Volcanoes of Kamchatka and the Kuril Islands: their Composition, Structure, and Genesis. Otv. O. L. Gaskova, A. K. Manstein, Eds.; RAS, SB, Institute of Oil and Gas Geology and Geophysics. A. A. Trofimuk, Novosibirsk : INGG SB RAS, 2013 [In Russian].

Gorshkov, G. S., 1967, Volcanism of the Kuril Island Arc, M. : Science [In Russian].

Gorshkov, G. S., 1954, Chronology of Eruptions of Volcanoes of the Kuril Ridge (1713–1952 gg.), tr. LV, issue 8, pp. 58–99 [In Russian].

Belousov, V. I., Rychagov, S. N., Sugrobov, V. M., 2002, North-Paramushir Hydrothermal-magmatic System: Geological Structure, Conceptual Model, Geothermal Resources, *Vulcanology and Seismology*, no. 1, pp. 34–50 [In Russian].

Ivanov, V. V., 1965, Hydrotherms of the Kurils-Kamchatka Volcanic Zone, M. [In Russian]. *Kalacheva, E. G.,* 2011, Conditions for the Formation of the Upper-Yurievsky Thermal Waters (Paramushir Island): Materials of the Region. Conf. Volcanism and its Associated Processes, ded. Day of the Volcanologist, March 30–April 1. 2011 P. Kamchatsky : IVS of the Far-Eastern RAS [In Russian].

Kalacheva, E. G., Kotenko, T. A., 2013, Chemical Composition of Waters and Conditions for the Formation of Verkhne-Yuryevsky Thermal Springs (Paramushir Island, Kuril Islands), Vestnik KRAUNTS, no. 2, issue 22, pp. 55–68 [In Russian].

Kotenko, T. A., Kotenko, L. V., Shapar, V. N., 2007, Activation of Ebeko Volcano in 2005–2006 (Paramushir Island, the Northern Kurile Islands), *Volcanology and seismology*, no. 5, pp. 1–11 [In Russian].

Korzhinskiy, D. S., 1952, Granitization as Magmatic Substitution. Izv. AN SSSR. Ser. geol., no 2, pp. 56–69 [In Russian].

Leonov, V. L., 1990, Estimation of the Thermal Waters Project Prospects of the North-Kurilsk Region: Report, P.-Kamchatsky [In Russian].

Leonov, V. L., 1992, Prospects for the Use of High-Temperature Hydrothermal Systems in Areas of Modern Volcanism for Disposal of Liquid Radioactive Waste and Other Hazardous Substances: Report, P.-Kamchatsky [In Russian].

Melekestsev, I. V., Dviglo, V. N., Kiryanov, V. Yu. et al., 1993, Ebeko Volcano (Kuril Islands): History of Eruptive Activity and the Expected Volcanic Danger, part 1, Volcanology and seismology, no. 3, pp. 69–81 [In Russian].

Menjaylov, I. A., Nikitina, L. P., Budnikov, V. A., 1992, Activity of Ebeko Volcano in 1987–1991. Characters of Eruption events, their Products, and Expected Danger for the City of North-Kurilsk, *Vulcanology and seismology*, no 6, pp. 21–33 [In Russian].

The newest and most recent volcanism in the territory of Russia, Otv. *Ed. N. P. Laverov*; Institute of Physics of the Earth. O. Yu. Shmidt, M. : Nauka, 2005 [In Russian].

The Results of Comprehensive Studies of Modern and Newest volcanism (exemplified by areas of Vernadsky Range, Paramushir Island). *Otv. Ed. S. I. Naboko*. Yu.-Sakhalinsk, 1966, pp. 3–204 [In Russian].

Rychagov, S. N., Belousov, V. I., Slovtsov, I. B. et al., 1999, Hydrothermal-magmatic Systems of Island Arcs: Evolution of Geological-Hydrogeothermal Structure, Hydrothermal Metamorphism, Functioning Mechanisms, Ore Formation (Results and the Program of Researches), Modern Volcanism and the Processes Associated With it., P.-Kamchatsky : IV FED RAS, pp. 96–99 [In Russian].

Sergeev, K. F., 1976, Tectonics of the Kuril Islands System, M. : Nauka [In Russian].

Fedorchenko, V. I., Abdurakhmanov, A. I., Rodionova, R. I., 1989, Volcanism of the Kuril Island Arc: Geology and Petrogenesis, M. : Nauka [In Russian].

Khubaeva, O. R., 2003, Morphostructure Analysis of the Paratunka River Valley Using Morphometric Methods, P.-Kamchatsky : KSPU Vestnik KRAUNTS, no. 1, pp. 54–62 [In Russian].

Khubaeva, O. R., 2017, The Role of Dikes in the Heat Supply of the Bogdanovich Volcano's Hydrothermal System, (Paramushir Island, Kuril Islands), Pacific. geol., vol. 36, no. 2, pp. 32–43 [In Russian].

Khubaeva, O. R., Bryantseva, G. V., Sim, L. A., 2007, The Newest Deformations of the Northern Part of Paramushir Island: Materials XI tect. Sovshch. Fundamental Problems of Geotectonics, M. : GEOS, vol. 1, pp. 109– 111 [In Russian].

Khubaeva, O. R., Shulga, O. V., Kotenko, L. V., Kotenko, T. A., 2005, Morphostructure and Estimation of Heat Transfer in the Northern Part of Paramushir Island: Materials of Intern. Field Kuril-Kamchatka Seminar Geothermal and Mineral Resources of the Regions of Modern Volcanism, P.-Kamchatsky, pp. 181–194 [In Russian].

Allard, P., 1992, Diffuse Degassing of Carbon Dioxide Through Volcanic Systems: Observed Facts and Implications, *Report Geol. Sur. of Japan*, pp. 7–11.

Anderson, A. T., 1976, Magma Mixing: Petrological Process and Volcanological Tool, *Jour. Geothermal Res.*, *June*, vol. 1, is. 1, pp. 3–33.

Decker, R. W., 1987, Dynamics of Hawaiian Volcanoes: an Overview, Volcanism in Hawaii : U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. 1350, United States Government Printing Office, Washington DC, pp. 997–1018.

Drummond, S. E., Ohmoto, H., 1985, Chemical Evolution and Mineral Deposition in Boiling Hydrothermal Systems. *Econ. Geol.*, 80, pp. 126–147.

Ellis, A. J., 1959, The Solubility of Calcite in Carbon Dioxide Solutions, *American Journal of Science*, vol. 257, pp. 354–365.

Giggenbach, W. F., 1981, Geothermal Mineral Equilibria, Geochimica et Cosmochimica Acta, vol. 45, pp. 393–410.

Giggenbach, W. F., Hedenquist, J. W., Houghton, B. F. et al., 1989, Research Drilling Into the Volcanic Hydrothermal System on the White Island, New Zeland, vol. 70. 98–100, pp. 108–109.

Gudmundsson, A., 1995, Infrastructure and Mechanics of Volcanic Systems in Iceland, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 64, pp. 1–22.

Haas, J. L., 1971, The Effect of Salinity on the Maximum Thermal Gradients of a Gydrothermal System at Hydrostatic Pressure, *Econ. Geol.*, 66, pp. 940–946.

Hedenquist, J. W., Browne, P. R. L., 1989, The Evolution of the Waiotapu Geothermal System, New Zealand, Based on the Chemical and Isotopic Composition of its Fluids, Minerals and Rocks, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53, pp. 2235–2257.

Hedenquist, J. W., Houghton, B. F., 1987, Epithermal Gold Mineralisation and its Volcanic Environments. Taupo Volcanic Zone, New Zealand, 15–21 November.

Henley, R. W., Ellis, A. J., 1983, Geothermal Systems Ancient and Modern: a Geochemical Review, Earth Sci. Rev.

Henley, R. W., Truesdell, A. H., Barton, P. B., Jr., Whitney, J. A., 1984, FluidMineral Equilibria in Hydrothermal Systems. Society of Economic Geologists Reviews in Economic Geology, vol. 1. 267 p.

Kalacheva, E., Taran, Y., Kotenko, T. et al., 2016, The Volcano-Hydrothermal System of Ebeko Volcano, Paramushir, Kuril Islands: Geochemistry and Solute Fluxes of Magmatic Chlorine and Sulfur, *Journal of Volcanology* and Geothermal Research 310, pp. 118–131.