

УДК 553.078.2

СЕВЕРО-ПАРАМУШИРСКАЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МАГМАТИЧЕСКАЯ КОНВЕКТИВНАЯ СИСТЕМА: ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ, ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

© 2002 г. В. И. Белоусов, С. Н. Рычагов, В. М. Сугробов
Институт вулканологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006
Поступила в редакцию 25.09.2000 г.

На основе обобщения геолого-геофизических, гидрогеологических, петрологических, минералогических, геохимических и других характеристик Северо-Парамуширской гидротермально-магматической конвективной системы предложена современная концептуальная модель системы, рассмотрены наиболее вероятные источники ее теплового питания и сделаны оценки прогнозных ресурсов Северо-Курильского геотермального месторождения, расположенного в границах названной системы.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с разработкой концептуальных моделей условий формирования эпитепмальных рудных и геотермальных месторождений сделан вывод о существовании в областях современного вулканизма длительно развивающихся (десятки миллионов лет) гидротермально-магматических (магмовулканоги-дротермальных) конвективных систем [51]. Главной особенностью систем является (происходивший и в прошлом) перенос тепловой энергии, расплавов, газов и других химических соединений от уровня мантии в верхние горизонты земной коры. Образование и функционирование гидротермально-магматических конвективных систем обусловлено соответствующей геолого-структурной обстановкой в зоне перехода от океанической к континентальной коре [4]. По мере эволюции таких систем, магматические расплавы, вулканические и гидротермальные газы (а также так называемые трансмагматические флюиды [23]) взаимодействуют с вмещающими породами, морскими, подземными термальными и метеорными водами и активно влияют на изменение геологического пространства. Процесс интенсивного преобразования вмещающих горных пород авторегулируется за счет осаждения кремнезема и других вторичных минералов вокруг гидротермально-магматической колонны [6,50]. Это, в свою очередь, ведет к изоляции аномального теплового потока и, соответственно, самой гидротермально-магматической системы от окружающего пронизанного геологического пространства и дневной поверхности. Последнее обстоятельство, на наш взгляд, имеет решающее значение для формирования гидротермальных рудных и геотермальных месторождений.

В ряду таких систем стоит Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая конвек-

тивная система, представляющая большой интерес для исследователей в течение многих десятков лет [7, 18, 24-28, 30-32, 35, 40, 47]. Этот интерес определяется специфическими условиями распространения, накопления и динамики поверхностных и подземных вод, а также особенностями структуры самой системы: островным положением объекта исследований (о. Парамушир, Большая Курильская гряда) на сочленении океанической земной коры с корой континентального типа; размещением в крупной, сложной и длительно развивающейся тектономагматической структуре вулканического хребта Вернадского; широким развитием вулканогенных формаций с хорошими кол-лекторскими свойствами пород; наличием в недрах системы на глубинах более 2-3 км источника нагрева, природа и точные параметры которого пока не определены; тем, что проявления современного вулканизма представлены активным вулканом Эбеко и считающимся потухшим голоценовым вулканом Неожиданный (рис. 1).

В последние годы в результате исследований по Федеральной целевой программе социально-экономического развития Курильских островов получены данные, позволяющие по-новому интерпретировать геологическое развитие района и предложить концептуальную модель Северо-Парамуширской гидротермально-магматической конвективной системы. Представленную модель мы рассматриваем как предварительную и в то же время прогностическую для проведения крупномасштабных геолого-геофизических работ в районе Северного Парамушира с целью уточнения характеристик гидротермально-магматической системы и параметров геотермального месторождения.

Общее геологическое строение Северо-Пара-муширского района. Острова Парамушир и Шум-



Рис. 1. Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая конвективная система - восточный склон хребта Вернадского в северной части о. Парамушир. Снимок выполнен В.Н. Двигало в зимнее время с самолета АН-30 во время извержения вулкана Эбеко в период 1987-1991 гг.

шу являются относительно поднятыми блоками земной коры и рассматриваются в качестве продолжения на юг Прибрежного горста Южной Камчатки [2, 17]. В.К. Гаврилов и И.А. Соловьева [11] выделяют в северной части о. Парамушир складку северо-восточного простирания, существовавшую в виде тектонического поднятия с начала позднего миоцена. Складчатость о-вов Парамушир и Шумшу рассматривается как исключение для Большой Курильской гряды [39]. В.Л. Леонов полагает, что данная антиклинальная структура является продолжением Южно-Камчатского ан-тиклинория (рис. 2). Восточное крыло антикли-нория по системе разломов, субпараллельных его оси, опущено в сторону Охотского моря.

Стратиграфия. Северную часть о. Парамушир слагают породы, имеющие возраст от верх-немиоцен-плиоценового до современного (рис. 2). Фундаментом служат осадочные породы Парамуширского комплекса свит. Наиболее древние из вскрытых пород представлены слоистыми вулcano-миктовыми песчаниками, туфами, туфогравелита-

ми, туфоалевролитами (охотская свита, $N_1^3-N_2^1$). Мощность отложения охотской свиты оценивается от 1400 до 3000 м. В районе г. Северо-Ку-рильска у горы Маяк отложения свиты образуют наклоненную в восточном направлении под уг-

лом $25^\circ-30^\circ$ моноклинальную структуру. Отложения верхней части разреза охотской свиты, впервые изученные на мысе Округлом, представлены конгломератами, брекчиями и вулканическими породами, залегающими почти горизонтально или наклоненными под углом $5^\circ-10^\circ$ в восточном направлении. Их видимая мощность достигает 500 м.

Завершают разрез неогеновых отложений средне- и верхнеплиоценовые образования океанской свиты (N_2^{2-3}), представленные вулканическими глыбовыми брекчиями, туфоконгломератами, аг-ломератовыми туфами и туффитами среднего и основного составов, туфопесчаниками. Мощность океанской свиты оценивается в 900-1000 м.

Интрузивный магматизм и вулканизм. С вулканогенными породами охотской и океанской свит связаны (или прорывают их) силлы, дайки, субвулканические образования различной формы. Силлом сложена гора Маяк, расположенная в г. Северо-Курильске. Породы представлены диа-базами - плотными, массивными, темно-серыми, палеотипного облика. Диабазы обладают прекрасной столбчатой отдельностью (рис. 3а). На тихо-океанском побережье они образуют крупные останцы (рис. 3б). Рвущие тела в виде даек имеют близкий к силлам возраст, мощность их достигает первых десятков метров. Они хорошо отпрепарированы в рельефе и прорывают силлы диабазов (рис. 3в).

¹ Леонов В.Л. Оценка перспективности г. Северо-Курильска на термальные воды. Отчет. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии ДВО РАН, 1990. 33 с.

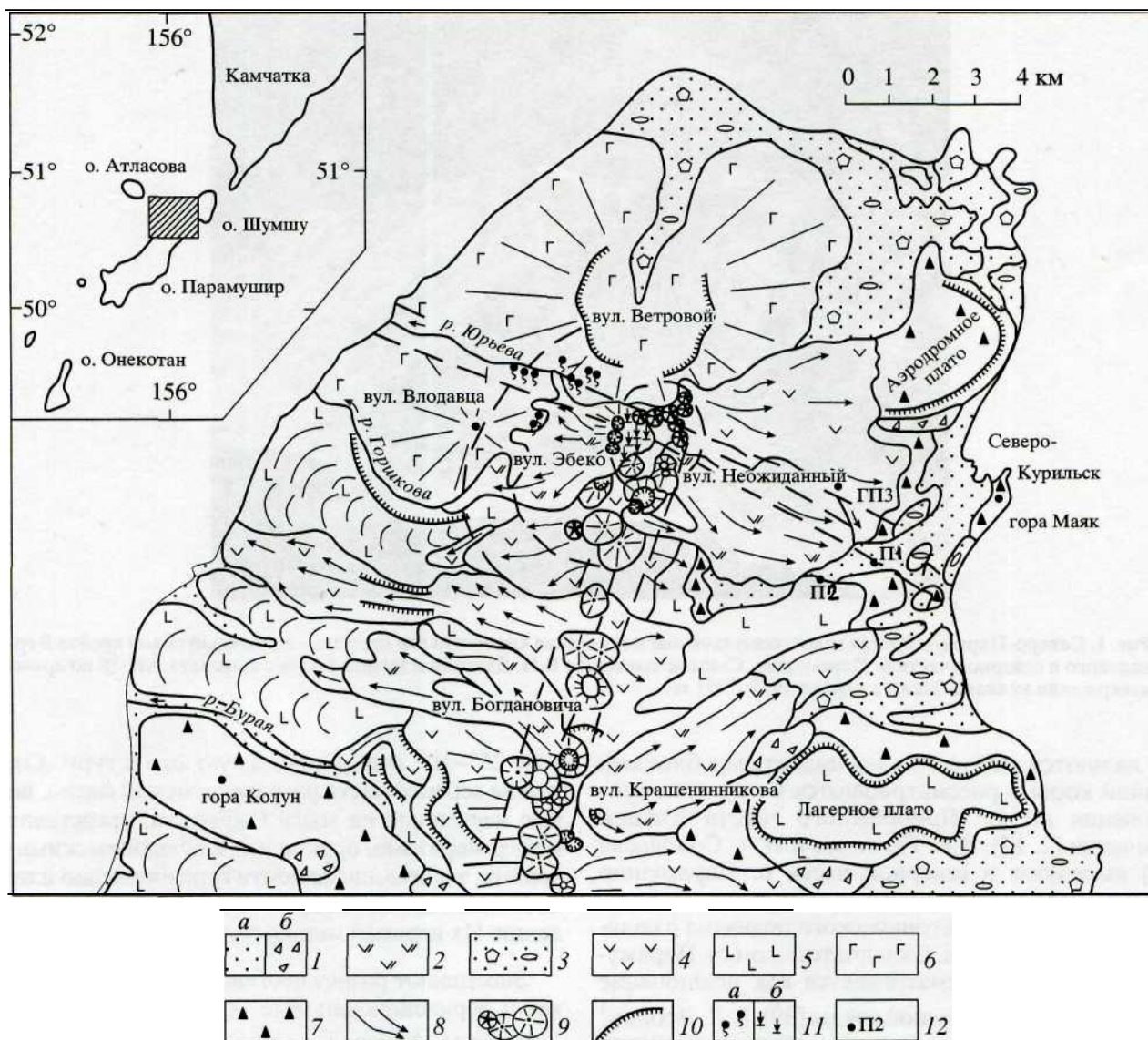


Рис. 2. Схематическая геологическая карта северной части острова Парамушир (по В.Л. Леонову [41], с добавлениями и изменениями): 1 - современные аллювиальные, морские и озерные отложения (а) и обвалы (б); 2 - лавы андезитового и андезитобазальтового состава (Q_4); 3 - ледниковые отложения (Q_3^4); 4 — лавы андезитового состава (Q_3); 5 — лавы андезитового и андезитобазальтового 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 - центры вулканических извержений (стрелками показаны направления движения лавовых потоков); 9 - небольшие вулканы, лавовые и шлаковые конусы осевой части хребта Вернадского; 10 - морфологически выраженные уступы, границы эрозионных кальдер; 11 - термальные источники (а) и фумаролы (б); 12 - геотермальные скважины и их номера. Пунктирными линиями показаны генеральные тектонические нарушения линейного и кольцевого плана.

Наиболее крупным является субвулканическое (по [41]) пластообразное на дневной поверхности тело, известное как Плато Аэродромное, образующее высокую (140-160 м) абразионную террасу. Плато имеет форму правильного эллипса с осями длиной 4500 и 2500 м и вытянуто в северо-восточном направлении по азимуту 65°. Сложено оно массивными черными андезитами, имеющими

брекчиевое или крупноблоковое строение на контактах с вмещающими породами. В северо-восточной части тела к андезитам с призматической отдельностью прислоняются сильно брекчированные породы того же состава. Мощность брекчиевой зоны составляет не менее 5 м. Мощность субвулканического тела оценивается в несколько сотен метров (эрозией вскрыто 140-160 м). Косвенные данные

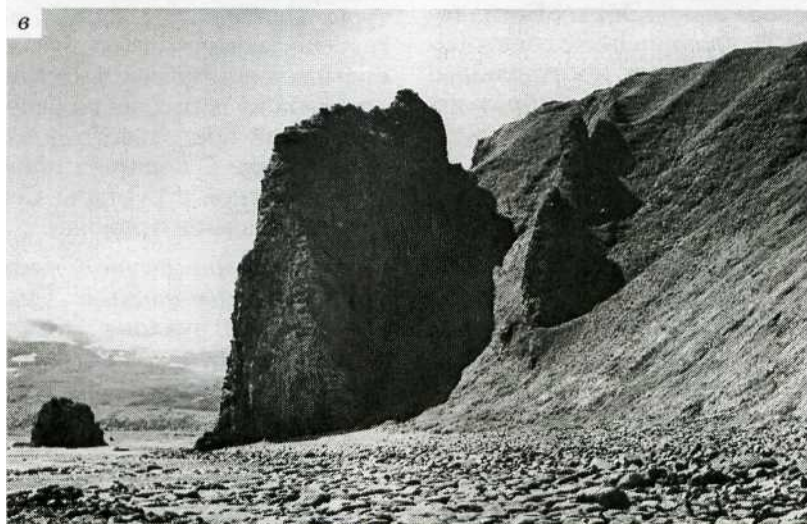


Рис. 3. Рвушие магматические тела: *а* - диабазы горы Маяк; *б* - останец диабазов, имеющих характерную структуру типа "поленицы", на океанском побережье о-ва Парамушир; *в* - дайки андезитобазальтов, прорывающие силлы диабазов. Фото А.В. Сокоренко.

свидетельствуют в пользу того, что тело имеет секущий характер.

Субвулканические тела типа Плато Аэродромное представляют интерес как возможные аналоги современных интрузий питающих Северо-Парамуширскую гидротермально-магматическую систему. В результате изучения сотрудниками Курильской экспедиции Института вулканологии ДВО РАН состава, петрографических и петрофизических свойств субвулканического тела в разрезе и по латерали показано неоднородное распределение свойств в его пределах, особенно в краевых (тектонически нарушенных) частях. Эти зоны могут служить путями перетока гидротерм на глубине или инфильтрации метеорных вод.

На вулканогенно-осадочных отложениях охотской и океанской свит залегают мощные потоки лав андезитов, формирующие плато в южной части хребта Вернадского. Возраст андезитов определен как верхнеплиоценовый [45]. В северной части о. Парамушир вскрыты лавово-пирокластические отложения базальтового состава предположительно ниже- и среднеплейстоценового возраста. Широко представлены двупироксеновые андезиты, названные межледниковыми [14] и имеющие возраст от ПО до 20 тыс. лет [19]. Вулканы Били-бина, Крашенинникова, Богдановича, Эбеко и др. сложены молодыми постледниковыми лавами двупироксеновых андезитов или (реже) андезито-базальтов. То обстоятельство, что вулканы межледникового и постледникового возраста расположены полосой северо-восточного простирания, и то, что здесь выделяется до 40 эруптивных центров, свидетельствуют о линейно-гнездовом характере развития вулканизма в северной части о. Парамушир [14]. Г.С. Горшков выделил три группы вулканов, с севера на юг: Эбеко, Богдановича и Вернадского. В.И. Федорченко с соавторами рассматривал их как сложные, но отдельные вулканы [48]. По существу все вулканы образуют крупную протяженную вулканотектоническую структуру, в недрах которой в течение длительного времени происходила миграция магматического расплава андезито-базальтового состава.

Действующим в северной части о. Парамушир является вулкан Эбеко. Известны его извержения 1793, 1895, 1934-1938, 1967-1971 и 1987-1991 гг. [25-27]. Последние извержения были фреатическими. В настоящее время вулкан сохраняет высокую активность, заключающуюся в периодических выбросах резургентного пепла (что документально зафиксировано в 1998-1999 гг. во время работ Курильской экспедиции ИВ ДВО РАН), на фоне, в целом, интенсивной фумарольной деятельности. Высота парогазовых выбросов достигает 200-300 м и более (рис. 1). Фреатические взрывы могут стимулироваться инъекциями магматических эманаций в высокотемпературную

гидротермальную систему, размещенную в недрах хребта Вернадского.

Тектоника северной части о. Парамушир. Подробное описание разрывной тектоники района исследований сделано ранее В.Л. Леоновым (ссылку на отчет см. выше). В последние годы эти сведения дополнены за счет изучения разрывных нарушений и трещиноватости пород на территории, прилегающей к г. Северо-Курильску.

Разрывные нарушения северо-западного простирания разбивают территорию на горсты и грабены. Крупной структурой является горст Козыревского-Левашова. Ширина его 12-14 км, длина - не менее 50 км. К юго-западу от этого горста расположен грабен Пуйшария шириной около 10 км и длиной более 20 км. Острова Парамушир и Шумшу разделяет грабен Второго Курильского пролива. В северной части о. Парамушир крупноамплитудных разломов северо-западного простирания не выявлено, но в неогеновых отложениях по р. Матросской проявлены трещины и микросбросы, имеющие простирание 140°-150° и падение на северо-восток под углами 65°-70°.

Горсты и грабены, имеющие размеры существенно меньше описанных выше структур, распространены в центральной и южной частях хребта Вернадского. Это горсты г. Левашова, г. Узкой и плато Лагерного, а также опущенные блоки, к которым приурочены долины рек Левашова, Северянки, Наседкина, Матросской. Разломы широтного простирания отчетливо проявлены лишь в районе хребта Вернадского. Это позволяет связывать активизацию движений по этим разломам с эпохой четвертичного вулканизма. Важнейшее значение для контроля тектономагматических и геотермальных процессов имеют кольцевые структуры. Центральная часть Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы локализуется в концентрической кольцевой структуре, образованной на пересечении основных зон разрывных нарушений продольного и поперечного направлений (на рис. 2 показана принципиальная картина тектонической структуры Северо-Парамуширско-го геотермального района).

Структура северной части о. Парамушир по геофизическим данным. Для изучения глубинного строения вулкана Эбеко и геотермального района начиная с 1960 г. проведены гравиметрические, магнитометрические, радиометрические и электроразведочные работы [7, 12, а также отчеты ИВ ДВО РАН]. Глубинным сейсмическим

² Научно-технический отчет за 1999 г. по выполнению НИОКР по проекту "Геолого-геохимическое картирование гидротермальных систем и геотермальных месторождений, создание моделей геотермальных и эпитептермальных рудных месторождений, в первую очередь, на Северных Курильских островах". Петропавловск-Камчатский: ИВ ДВО РАН, 1999. 1999 с.

зондированием установлено, что мощность "консолидированной" земной коры в районе составляет 20-35 км, поверхность Мохоровичича залегает на глубине 22-25 км; мощность "гранитного слоя" равна 2 км, рыхлых отложений - 1-2 км [12]. В результате исследований показано, что на восточном склоне вулкана Эбеко породы залегают почти горизонтально и мощность четвертичных отложений сокращается от 600 до 0 м. На западном склоне вулкана установлено резкое погружение третичного фундамента в направлении Охотского моря и увеличение мощности четвертичных отложений от 500-600 до 1000-1100 м. В районе центрального конуса вулкана Эбеко выявлена отрицательная аномалия силы тяжести, объясняемая малой плотностью пород, образующих вертикальное цилиндрическое тело овального сечения (~2 x 1 км).

Гравиметрическими и магнитометрическими работами выделены две положительные аномалии силы тяжести - в верховьях р. Юрьева и на северо-восточном побережье острова; одна отрицательная аномалия - в южной части (верховьях р. Наседкина). Величина первой положительной аномалии превосходит поле гидротермально измененных пород, что может указывать на ее связь с глубинными факторами. Аномалия оценивается как шар радиусом 1.5 км, верхняя кромка которого находится на глубине 1.5 км. Предполагается, что непосредственно под вулканом Эбеко крупного магматического очага нет. Отрицательная аномалия силы тяжести связывается с подъемом поверхности фундамента в виде свода, обладающего отрицательной избыточной плотностью. Исследованиями установлены следующие значения средней плотности пород района: алевролиты, песчаники и вулканические брекчии фундамента - 1.99 г/см³ (1.95 по [7]); четвертичные андезиты и андезитобазальты - 2.53 г/см³ (2.70); пирокластические и гидротермально измененные породы - 1.78 г/см³ (1.65). Эффективная плотность пород конуса вулкана Эбеко составляет 2.35 г/см³, при соотношении объема пирокластики и лав как 2:3.

В начале 1980-х годов Сахалинской геофизической экспедицией для поиска термальных вод проведена магнитная съемка и работы методом высокочастотного электрического зондирования (ВЭЗ) на территории, прилегающей к вулкану Эбеко. Выявлено три зоны пониженного кажущегося электрического сопротивления пород: юго-восточная, центральная и северная. Все зоны имеют северо-западное простирание и совпадают с крупными системами тектонической трещиноватости. С разрывными нарушениями северо-западного простирания ассоциируют многие термальные проявления Курильских островов. В дальнейшем методами магнитотеллурического и частотного зондирования в пределах этих зон выделены локальные изометричные аномалии, которые интерпретировались как

области перетока парогидротерм. Пробуренные с учетом результатов этих работ глубокие геотермальные скважины П-1 (1260 м), П-2 (1600 м) и ГП-3 (2500 м) не выполнили своей задачи: вскрыты зоны трещиноватости с малыми водопритоками, либо горячие (до 210°C), но "сухие" горные породы. Данный факт свидетельствует о сложном строении Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы.

Глубинное строение гидротермально-магматической системы на основе изучения опорного геологического разреза. Изучению глубокого геологического разреза Северо-Парамуширской гидротермально-магматической конвективной системы (комплекс данных по скважине ГП-3) посвящена отдельная статья [35]. Поэтому для интерпретации материала настоящей работы отметим лишь основные параметры разреза (рис. 4).

Состав и структура пород. Опорный геологический разрез Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы сложен четырьмя комплексами интрузивных, вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород.

Основание разреза (2500-1700 м) составляют литокристаллокластические псефопсаммитовые пестроцветные туфы андезитобазальтового состава (в верхней части толщи) и интрузивные туфы или интрузивные (автомагматические) брекчии того же состава, с обломками микродиоритов и диоритов, в основании толщи. Последнее обстоятельство, а также аналогия с другими гидротермальными системами Камчатки и Курильских островов [34, 36, 42] позволяют нам предполагать, что интрузивные туфы слагают блоково-брекчие-евую мантию мощного диоритового тела.

Средняя толща (960-1650 м) представлена литокристаллокластическими псефопсаммитовыми туфами, в среднем андезитового состава, имеющими спекшийся облик и однородное распределение по разрезу. Верхняя часть толщи тектонически брекчирована.

Вулканогенно-осадочный комплекс пород (140-960 м) состоит из чередующихся прослоев псефопсаммитовых и алевропелитовых туфов и туффитов. В верхней части толщи (140-400 м) преобладают туффиты, содержащие обилие реликтов морской микрофауны, замещенной силикатными и рудными гидротермальными минералами. Основание комплекса (400-960 м) представлено существенно туфами или туфолавами, с прослоями туффитов. Породы на границе с ниже лежащей толщей (в интервале 700-960 м) неоднородны, трещиноваты и высокопористы.

Мишин В.Б. Отчет на подготовку геофизической основы для поисков в восточной части Северо-Парамуширской геотермальной системы. Елизово: Фонды ЕГФЭ, 1993. 140 с.

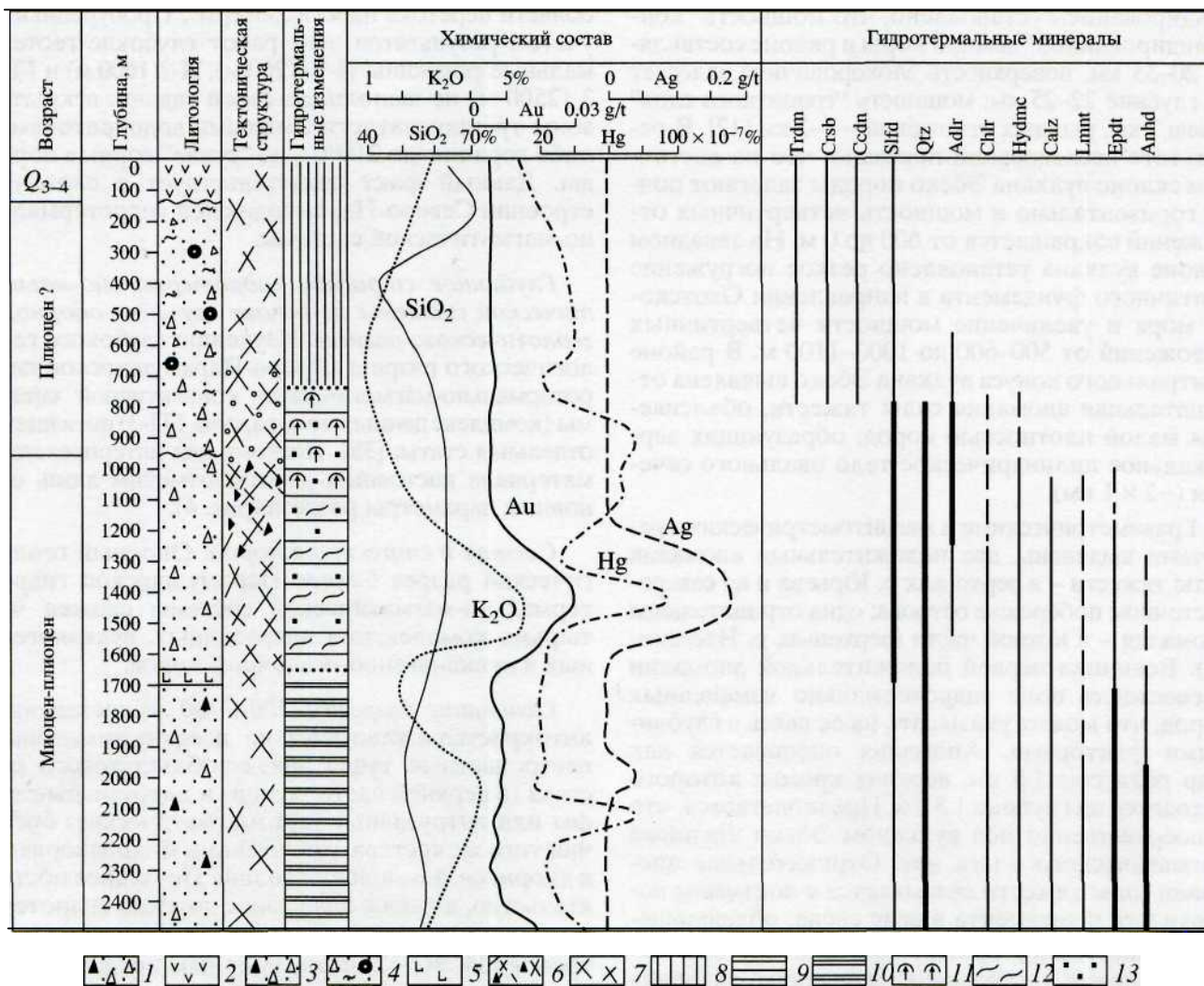


Рис. 4. Сводный геолого-геохимический разрез Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы (скважина ГП-3): 1 - туф литокристаллокластический интрузивный андезитобазальтового состава; 2 - лавы андезитов; 3 - туф литокристаллокластический пестроцветный андезитового состава, псефосаммитовой размерности обломков; 4 - туффит с включениями реликтового органического материала; 5 - лавы (дайки, силлы?) андезитобазальтов; 6 - тектоническая брекчия; 7 - умеренно трещиноватые породы; 8 - низкотемпературная опал-кristобалит-три-димит-халцедоновая минерализация; 9 - низко- и среднетемпературные существенно кварц-адуляр-гидрослюдистые метасоматиты с включениями рудных минералов; 10 - среднетемпературные пропилиты кварц-хлорит-эпидот-мусковитового состава; 11 - зоны перехода жидкость-пар (кварц-адулярные метасоматиты); 12 - кварц-халцедоновые прожилки с рудными минералами; 13 - рудная минерализация. Гидротермальные минералы: Trdm - тридимит, Crsb - кристобалит, Ccdn - халцедон, Sfld - сульфиды, Qtz - кварц, Adlr - адуляр, Chlr - хлорит, Hydmc - гидрослюда, Calz - кальцит, Lmnt - ломонит, Epdt - эпидот, Anhd - ангидрит.

Верхняя толща (0-140 м) представлена лавами андезитового, андезитобазальтового состава, двупироксеновыми. Лавы относительно массивны и наименее гидротермально изменены из всех пород разреза.

Гидротермально-метасоматические изменения пород имеют зональный характер.

2500-1650 м - среднетемпературные пропилиты кварц-хлорит-эпидот-мусковитового состава. С глубиной увеличивается частота встречаемости ангидрита - до его массового высаживания в

породах основания разреза. Это свидетельствует о смешении здесь глубинных высоко- и средне-температурных гидротерм хлоридно-натриевого состава с морскими водами.

1650-750 м - кварц-адуляр-гидрослюдистые метасоматиты. По интервалу развиты кварц-адулярные прожилки с включениями рудных минералов. Верхняя часть зоны подвержена интенсивному химическому выщелачиванию и, возможно, механическому вымыванию рыхлого цемента туфов с образованием большого количества пустот. К интервалу приурочена наиболее разнообразная

разная рудная минерализация. Мы полагаем, что эта часть разреза (~ 750-1200 м) представляет собой мощную зону перехода жидкость-пар с формированием на ее границах рудных геохимических барьеров.

750-100 м - низкотемпературные опал-кристо-балит-тридимит-халцедон-кварцевые метасомати-ты с включением рудных минералов, в основном, пирита. Метасоматиты выполняют поры, пустоты и трещины, замещают цемент первичных пород и, вероятно, образуются за счет высаживания кремнезема из пароводяной смеси при кипении растворов. Интенсивное окремнение пород над мощной зоной кипения гидротерм усиливает прочностные и водоупорные свойства вулканогенно-осадочной толщи и способствует сохранению высоких термодинамических параметров в недрах системы.

Состав зон гидротермально-метасоматическо-го изменения пород, характер границ и переходов от зоны к зоне, постепенная смена температур минералообразования и другие данные свидетельствуют в пользу формирования метасоматитов в результате современного однонаправленного процесса за счет продвижения фронта гидротермально-магматического флюида от глубинного источника тепла к дневной поверхности. На эти метасоматиты накладываются новообразования области перехода жидкость-пар.

Рудная минералого-геохимическая характеристика, источники вещества. Характеризуемый разрез отличается в целом высокой проницаемостью для газопарогидротерм. В кварц-адуляровых метасоматитах выделяется несколько геохимических барьеров на Au, Ag, Hg, Pb, Zn и другие элементы. Здесь формируется гидротермальная полиметаллическая минерализация. На глубине более 1 км к наиболее проницаемым участкам (как правило, литологическим границам, тектонически брекчи-рованным) приурочены скопления самородных металлов и интерметаллических соединений, а также частиц углерода, характеризующих восстановительные условия минералообразования. Ближе к основанию разреза увеличивается содержание самородных Cu, Zn, Pb, Sn и соединений этих металлов. Состав, свойства, распределение и механизмы образования самородных металлов и интерметаллических соединений в структуре современных высокотемпературных гидротермальных систем рассмотрены нами ранее [37, 38], а также на примере опорного геологического разреза Северо-Пара-муширской гидротермально-магматической системы [35].

Таким образом, происходит привнос во вмещающие породы большого количества кремнекис-лоты, щелочей и ряда рудных химических элементов и соединений. Привнос осуществляется газогидротермальным флюидом из нижележащих горизонтов по открытым на

1.5-2.0 км зонам тектонических нарушений. Формирование флюида происходит, по-видимому, на уровне брекчиевой мантии диоритового - габбро-диоритового тела или глыбже.

Гидродинамическая и газогидрохимическая структуры системы. В районе Северного Параму-шира выпадает большое количество атмосферных осадков (до 1800 мм в год). Кроме инфильтрационного питания, подземные воды острова формируются за счет поступления морских вод. В районе распространены подземные воды открытой трещиноватости вулканогенных пород четвертичного и вулканогенно-осадочных пород палеоген-неогенового возраста.

Водоносный комплекс пород плейстоцен-голо-ценового возраста. Вулканические породы этого возраста представлены андезитами, андезитоба-зальтами, их туфами и брекчиями и слагают более 80% территории (рис. 2). Породы образуют грубо-лоистую толщу мощностью от 100-200 до 900 м в центральной части хребта Вернадского. Водоносный комплекс представляет собой сложную гидравлическую систему, в которой подземные воды содержатся в трещиноватых вулканитах, заключенных среди более массивных и менее обводненных пород. Повсеместно проявленная трещиноватость пород при невыдержанности водоупоров определяет гидравлическую связь между пластовыми горизонтами трещинных вод и обеспечивает быструю инфильтрацию атмосферных осадков к подножью вулканических построек и перетоку их в трещиноватые породы фундамента. Высокодебитные источники (до 40-50 л/с) наблюдаются на контактах эффузивов с подстилающими породами и представляют собой пластовые выходы, протягивающиеся на расстоянии до 1 км. Одиночные выходы подземных вод с высокими дебитами локализуются в тектонических нарушениях. Преобладают хлоридно-сульфатно-карбонатные воды с минерализацией от 0.1 до 0.3 г/л. Воды, связанные с зонами гидротермально измененных пород, характеризуются сульфатно-кальциевым составом, кислой реакцией и минерализацией до 2.9 г/л. К данному водоносному комплексу относятся фумарольные термы склонов современных вулканов Эбеко и Неожиданный.

Водоносный комплекс пород плейстоцен-голо-ценового возраста. Комплекс представлен породами океанской свиты, образующими пологую моноклинал с падением 5°-15° на запад. Главной особенностью толщи является широкое развитие рыхлых пород. В пределах комплекса развиты как безнапорные воды, приуроченные к коре выветривания, так и горизонты напорных пластово-трещинных вод. Питание верхней части комплекса осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков. Водоносность комплекса обусловлена в значительной степени высокой трещино-

Таблица 1. Химический состав вод, отобранных из скважин в районе г. Северо-Курильска

Компоненты	Концентрация, мг/л	
	Скв. П-2	Скв. П-1
NH ₄	0.1	0.1
K	131.0	44.9
Na	2302.0	2875.0
Ca	30.0	46.1
Mg	23.0	32.8
F	0.84	0.6
Cl	2713.0	2482.2
SO ₄	96.0	39.4
HCO ₃	1817.0	3796.7
SiO ₂	89.4	68.7
B	8.7	16.2
общая минерализация	7210.94	9402.7
pH	8.05	7.7

Примечание. Анализы выполнены в ЦХЛ ПГО "Сахалингео-логия".

ватостью пород, которая резко уменьшается с глубиной. Поэтому по вертикали выделяется две зоны с различными фильтрационными свойствами: верхняя (до 100 м), имеющая коэффициент фильтрации $\geq 6-8$ м/сут, и нижняя (≤ 0.4 м/сут). Дебиты источников составляют не более 1 л/с.

Водоносный комплекс вулканогенно-осадочных пород миоценового возраста. Породы охотской свиты дислоцированы и разбиты разломами, на большей части территории перекрыты четвертичными и плиоценовыми породами. Отложения комплекса характеризуются сильной фациальной изменчивостью. Наиболее водопроницаемыми являются песчаники, разбитые крутопадающими трещинами. В алевролитах, аргиллитах и туфах развиты трещины, совпадающие с плоскостями напластования. Различие в трещиноватости пород обуславливает послонное обводнение отложений и формирование в них трещинно-пластовых безнапорных и напорных вод. Питание осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков на участках выхода пород на дневную поверхность. Нижняя часть комплекса находится в условиях затрудненного водообмена. Скважины, пробуренные в долине р. Матросской вблизи г. Северо-Курильска, вскрыли трещинные воды данного комплекса. Дебиты скважин изменялись от 0.1 до 14 л/с. Верхняя часть разреза характеризуется средним коэффициентом проницаемости -2.75 мД, гидрокарбонатно-хлоридно-натриевым составом вод с минерализацией около 10 г/л и температурой 80-95°C (табл. 1). Повышенная ми-

нерализация воды, относительно высокое содержание магния и кальция связывается с возможным участием в их формировании "береговых" терм, описанных для сходных гидрогеологических условий в работах [21, 22].

Поверхностная газогидротермальная деятельность Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы. Центральная часть Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы представлена вулканом Эбеко. Для него характерна высокая газогидротермальная активность на протяжении всего исторического периода: выделение большого количества вулканических газов; образование трех крупных кратеров размером 300-400 м в диаметре и обширных фумарольных полей; формирование поверхностных источников и подземных вод различного состава с низкими pH. Все термальные (фумарольные) поля объединяются в три группы. Они характеризуются, в основном, по данным [40] и работе Л.Н. Барабанова. Расположение двух групп термальных полей привершинной части вулкана показано на рис. 5.

Характеристика термальных (фумарольных) полей. Первая группа локализована в кратерной области вулкана и включает 6 полей: I-VI (рис. 5). В настоящее время для нее характерна слабая фумарольная деятельность с температурами до 100-150°C. Водная составляющая представлена природными конденсатами, смешанными с метеорной водой. В составе газов доминируют CO₂, а также SO₂ и HCl. Фумарольная активность менялась во времени, в зависимости от эруптивной деятельности вулкана. Например, во время извержения 1967-1971 гг. образовалась воронка в Северном кратере и фумаролы на ее дне с температурой 400°C, а после извержения 1987-1991 гг. фумарол в Северном кратере не стало.

Вторая группа расположена на восточном склоне вулкана Эбеко (рис. 5) и включает фумарольные поля VII-XVI. Термальные источники представлены конденсатами парогазовых струй или их смесью с поверхностными метеорными водами. Это ультракислые (pH < 2) сульфатно-хлоридно-водородные, а также редкие хлоридно-водородные воды. Температура воды составляет 85-97°C, минерализация - до 30 г/л. В составе вод присутствует доля магматических летучих, о чем свидетельствуют повышенные концентрации HCl, SO₂, CH₄, H₂ и др., а также наличие высокотемпературных фумарол (120°C, а в периоды активизации вулкана - до 380°C).

Третья группа - термальное поле западного склона вулкана Эбеко располагается в истоках рек Юрьева и Горшкова и среднем течении р. Юрьева

Барабанов Л.Н. Гидротермы Курильской вулканической области. Отчет. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии ДАО РАН, 1976. 460 с.

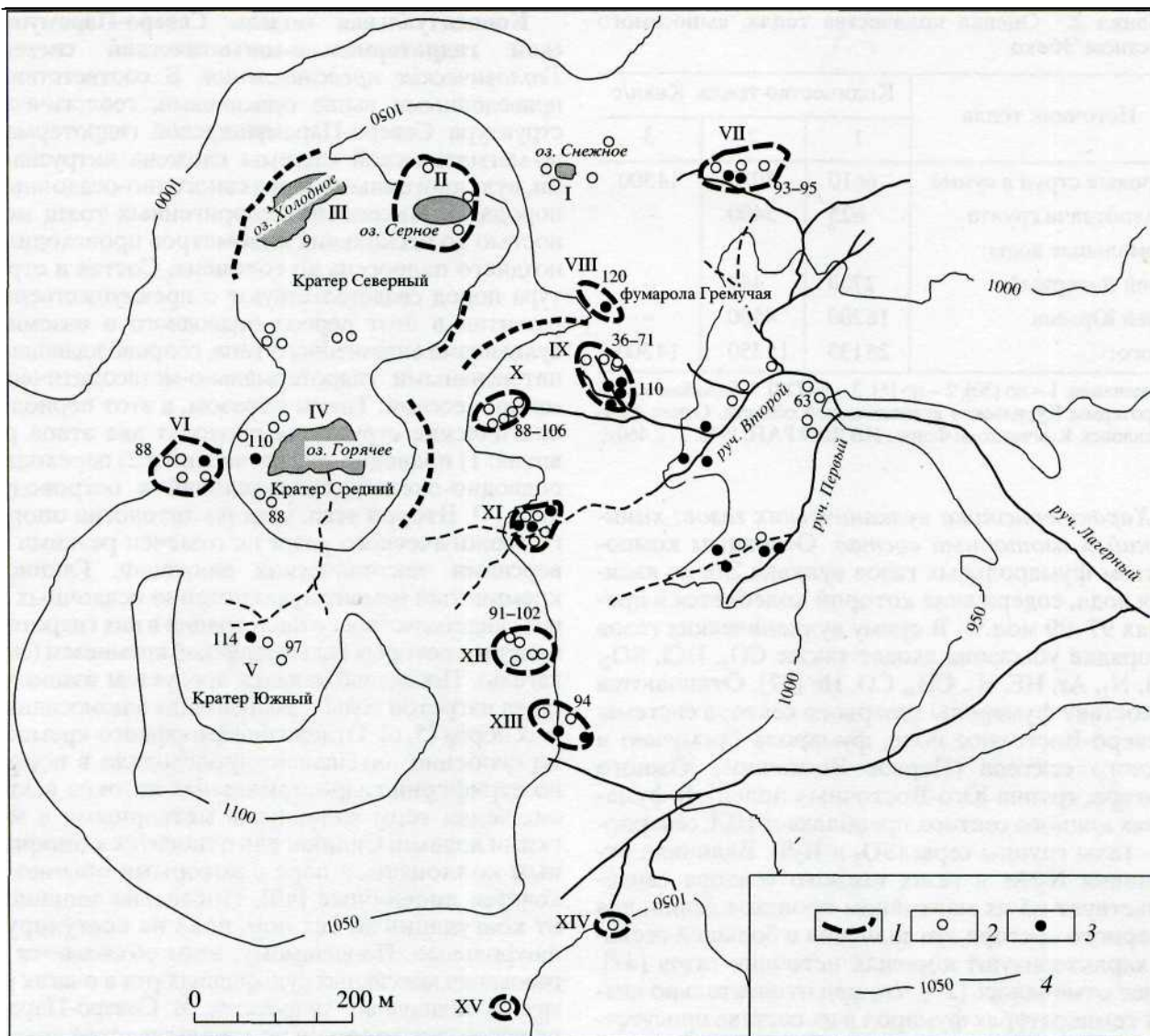


Рис. 5. Схема расположения термальных полей в центральной части Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы (кратерной области вулкана Эбеко). По Л.Н. Барабанову и [40] с изменениями: 1 - условные границы термальных полей; 2 - термальный источник, естественный конденсат; 3 - парогазовая струя (арабские цифры в 2 и 3 - температура термоявлений в градусах Цельсия); 4 - изогипсы дневной поверхности. Римскими цифрами обозначены термальные (фумарольные) поля: I - Северное, II - кратера Новый, III - кратера Северный, IV - кратера Средний, V - кратера Южный, VI - Западное, VII - Северо-Восточное, VIII - Первое Восточное, IX - Второе Восточное, X - Третье Восточное, XI - Четвертое Восточное, XII - Первое Юго-Восточное, XIII - Второе Юго-Восточное, XIV - Третье Юго-Восточное, XV - Четвертое Юго-Восточное.

и представляет собой крупный очаг разгрузки высокотемпературных минерализованных подземных вод. По бортам и в русле р. Юрьева на протяжении 1 км сосредоточено более 50 источников: температура воды составляет от 10 до 90°C, минерализация - до 14 г/л, дебиты источников достигают 2-9, а групп источников - 35 л/с. Общая разгрузка колеблется от 350 до 600 л/с [10, 18, 31]. Химический состав вод однообразный, что свидетельствует о существовании единого горизонта пластово-трещинных растворов. Подземные воды по химическому составу относятся к сероводо-

родно-углекислым термам области современного вулканизма, согласно известной классификации В.И. Кононова [21]. Наличие источников с ультракислыми водами, большого количества Cl-ио-нов , HCl , SO_2 , и других компонентов указывает на присутствие глубинной магматической составляющей. Вынос тепла термоявлениями привершинной части вулкана Эбеко составляет 10 850-14 300 ккал/с (табл. 2). Количество тепла, выносимого на западном склоне вулкана, определяется в диапазоне 6700-40 000 ккал/с.

Таблица 2. Оценка количества тепла, выносимого вулканом Эбеко

Источник тепла	Количество тепла, Ккал/с		
	1	2	3
Паровые струи в сумме	6610	5010	14300
Теплоотдача грунта	625	5400	-
Термальные воды:			
ручей Лагерный	2700	440	-
ручей Юрьева	16200	4500	-
Итого:	26135	15350	14300

Примечание. 1 - по [30], 2 - по [*], 3 - по [28]. * Барабанов Л.Н. Гидротермы Курильской вулканической области. Отчет. Петропавловск-Камчатский: Фонды ИВ ДВО РАН, 1976. Т. 1.460 с.

Характеристика вулканических газов: химический и изотопный состав. Основным компонентом фумарольных газов вулкана Эбеко является вода, содержание которой колеблется в пределах 97-99 мол.%. В сумму вулканических газов в порядке убывания входят также CO₂, HCl, SO₂, H₂S, N₂, Ar, HF, H₂, CH₄, CO, He [27]. Отличаются по составу фумаролы северного сектора системы (Северо-Восточное поле, фумарола Гремучая) и южного сектора (Первое Восточное, Южного кратера, группа Юго-Восточных полей). В фумаролах южного сектора преобладает HCl, северного - газы группы серы (SO₂ и H₂S). Величина отношения N₂/Ar в газах южного сектора свидетельствует об их мантийном происхождении, для северного сектора эти значения в большей степени характеризуют коровый источник газов [47]. Ранее отмечалось [27], что при относительно низких температурах фумарол в их составе присутствуют HCl и SO₂ в таких концентрациях, которые характерны для более высокотемпературной обстановки, что объясняется адиабатическим расширением в верхней части постройки [31]. Для большинства полей температура фумарол в последние годы колеблется от 94 до 120°C. Исключением являются фумаролы группы Юго-Восточных полей, где в июле 1998 г. температура поднималась до 150-160°C.

Исследования режима вулканических газов показывают в целом постоянство их общего состава. Изотопные отношения благородных газов отличаются от отношений в атмосфере, что свидетельствует в пользу формирования газового состава при участии глубоких летучих. В конденсатах парогазовых струй повышены содержания тяжелого кислорода, что может быть объяснено, помимо привлечения гипотезы о влиянии глубоких летучих, фракционированием изотопов кислорода в результате кипения гидротермального флюида.

Концептуальная модель Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы.

Геологические представления. В соответствии с приведенными выше описаниями, геологическая структура Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы сложена интрузивными, вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами. Накопление терригенных толщ мощностью до нескольких километров происходило с позднего палеогена до голоцена. Состав и структура пород свидетельствуют о преимущественном развитии в этот период подводного и наземного вулканизма андезитового типа, сопровождавшегося интенсивными

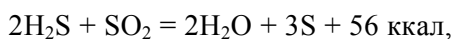
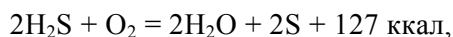
гидротермально-метасоматическими процессами. Таким образом, в этот период геологические структуры проходят два этапа развития: 1) подводно-океанический и 2) перехода от подводно-океанических условий к островодужным [4]. Второй этап, судя по литологии опорного геологического разреза, отмечен резкими инверсиями тектонических движений. Глинисто-кремнистый цемент вулканогенно-осадочных пород свидетельствует о фильтрации в них гидротерм, в составе которых был аморфный кремнезем (сили-кагель). Последний являлся продуктом взаимодействия нагретой воды и вмещающих алюмосиликатных пород [5, 6]. Отложение аморфного кремнезема особенно интенсивно происходило в породах по периферии гидротермальных потоков в зонах смешения терм холодными метеорными и морскими водами. Силикагель относится к лиофильным коллоидам, в паре с которыми обычно находятся лиофобные [49]. Последние защищены от коагуляции до тех пор, пока не коагулируют лиофильные. По-видимому, этим объясняется образования массивных сульфидных руд в очагах разгрузки подводных гидротерм. В Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системе на отмеченных выше начальных этапах развития островной дуги также образуется специфическая сульфидно-кремнистая минерализация: от рассеянной вкрапленности до прожилков и массивных агрегатов.

В четвертичное время на пьедестале палеоген-неогеновых отложений завершается формирование вулканических хребтов (с севера на юг: Вернадского, Левинсона-Лессинга и Карпинского) и современного облика о. Парамушир. На территории Северного Парамушира широко распространены эффузивы андезитового и андезитобазальтового составов и интрузивные и субвулканические тела диоритового состава.

Изложенное позволяет говорить о сложной истории Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системы, ее значительной мощности и большом объеме гидротермально измененных пород. На всей площади гидротермально-магматической системы наиболее широко распространены высококремнистые новообразования, которые мо-

гут служить аналогами вторичных кварцитов "при-контактового выщелачивания" [29]. На глубину до нескольких десятков метров развиты колломорф-ные минералы кремнезема типа опала, далее образуются гребенчатый кварц, листоватый и пластинчатый алуни-т, диккит и гидрослюды. Моноопаловая фация прослеживается до глубины 50-70 м, кварц-алуни-товые опалиты формируются в интервале 50-120 м от дневной поверхности, кварц-гидрослю-дистые опалиты развиваются от отметок 100-120 м до многих сотен метров, особенно в пределах зон разрывных нарушений. В основании толщи кислотного и углекислотного выщелачивания залегают низкотемпературные кварц-хлорит-гидрослю-дистые пропилиты, образующиеся в результате нейтрализации кислых гидротерм конден-сатного происхождения при их взаимодействии с алюмосиликатными вмещающими породами.

Характерна следующая особенность веще-ственного состава вышеописанных фаций гидротер-малитов: в них отмечается высокое содержание самородной серы, достигающее 20-21% от объема пород. Выпадение серы близ устьев источников гидротерм связано, в основном, с окислением сероводорода [9]. Сера отлагается в виде аморфного или скрытокристаллического осадка, часто вместе с опалом, алуни-том и сажеподобной разновидностью марказита. Сульфиды железа в значительных количествах осаждаются на некотором расстоянии от дневной поверхности в условиях недостатка кислорода. Отложение серы у фумарол связано как с окислением сероводорода и реакциями между се-роводородом и сернистым газом, так и с конденса-цией газогидротерм, содержащих сернистый газ:



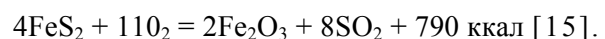
Осаждение серы в кратерных озерах обусловлено интенсивным окислением сероводорода в толще воды вследствие перемешивания ее поднимающимися пузырьками газов.

Таким образом, в газогидротермальных про-цессах, протекающих в недрах Северо-Параму-ширской гидротермально-магматической системы, большую роль играет сера и ее соединения. Вблизи очагов разгрузки растворов происходит насыщение пор и трещин водовмещающих гори-зонтов сульфидно-сульфатно-кремнистыми об-разованиями, а также отложение этих гидротер-малитов на морском дне и дневной поверхности. Поскольку гидротермы при разгрузке в значительном своем объеме представлены коллоидными сульфидно-кремнистыми растворами, в которых мицеллы силикагеля и сульфидов заряжены отрицательно, они способны адсорбировать мно-

гие катионы, особенно крупных многозарядных атомов [8].

Авторы не рассматривают специально вопрос об источниках теплового питания Северо-Пара-муширской гидротермально-магматической системы, придерживаясь точки зрения, высказанной ранее, в том числе ими, что источником тепла для гидротермальных систем являются магматичес-кие расплавы [1, 3], которые образуются в ман-тии (базальты, андезиты) или в земной коре (ан-дезиты, дациты, риолиты). Однако, опираясь на изложенные выше данные о накоплении в ходе длительной истории гидротермально-магматиче-ской системы большого объема гидротермали-тов с высоким содержанием серы и сульфидов железа, можно высказать предположение о существовании в верхней части земной коры дополнительного источника тепла для функционирования гидротермально-магматической системы.

Передача тепловой энергии от магмы к гидро-термам осуществляется, в основном, конвекцией расплавов или магматических летучих. Дегазация в большинстве случаев представляется как выде-ление пузырьков пара из высокотемпературного расплава. При этом подразумевается, что газовая фаза и расплавы не вступают между собой в хи-мическое взаимодействие, а подчиняются физи-ко-химическим процессам растворения нейтраль-ных газов в нейтральной жидкости. Такая модель применима лишь в идеальном случае, когда потеря летучих расплавами происходит в процессе кристаллизационной или ликвационной диффе-ренциации. При смешении низкотемпературных расплавов коровых магматических очагов с высо-котемпературными мантийными расплавами под действием тепла последних будет выделяться га-зовая фаза. Газ расширяется и может выбрасы-вать на дневную поверхность пемзовидную породу [16]. Разрыв стенок пузырьков приводит к дроблению расплава, который при этом резко ох-лаждается и становится хрупким. Процессы дроб-ления и извержения "холодного" расплава уско-ряют перемешивание его с глубинной магмой. Сейсмические события, сопровождающие внед-рение мантийного расплава, также способствуют этому. При прорыве эруптивной колонной суль-фидно-кремнистых пород из аморфного или тон-кокристаллического кремнезема при нагреве до 700-800°C кислород выделяющейся воды окисляет пирит согласно реакции:



Реакция происходит при температуре 800°C, сопро-вождается выделением огромного количества тепла и относится к самоподдерживающимся процессам горения. Кроме того, выделяющиеся при горе-нии газы обладают большой взрывной способно-стью [46]. Это приводит к дополнительному раз-рыхлению вмещающих пород и эксплозивным

выбросам. Настоящие предположения подтверждаются сериями фреатических извержений вулкана Эбеко 1987-1991 гг. и последней активизации в 1998-1999 гг., в продуктах которых не обнаружено ювенильного материала. Вследствие протекания описанных процессов, в верхней части гидротермально-магматической системы создается мощная зона аэрации. Смещение здесь сернистого газа с метеорной водой и кислородом приводит к образованию серной кислоты. Фильтрация сернокислотных растворов через сульфидно-кремнистые породы создает зоны вторичного сульфидного обогащения, характерные, в частности, для медно-порфировых месторождений [33]. Снижение давления в результате взрывов и создание системы эруптивных каналов вдоль хребта Вернадского, вероятно, способствует подъему глубинных расплавов на более высокие горизонты и ассимиляции ими пород, в т.ч. гидротермально измененных. Последнее поддерживает процесс окисления ("горения") сульфидов и создания вторичных источников тепла, вплоть до камер с андезитовым расплавом. Протекание этих процессов в верхней части (первые сотни метров) эруптивных каналов вулкана Эбеко и накопление здесь тепловой энергии (не обязательно с образованием расплавов), по-видимому, создает условия для периодических фреатических взрывов.

Изложенная концепция "выгорания сульфидов" в огромной массе метасоматитов, образовавшихся в палеоген-неоген-четвертичное время, позволяет выдвинуть гипотезу о существовании в верхней части земной коры дополнительного источника тепла для гидротермально-магматической системы. Значительная мощность источника (точные оценки которой еще предстоит сделать) определяется большим объемом материала "горения", накопленного за длительный промежуток времени (миллионы лет) и, возможно, его возобновляемостью за счет постоянно образующихся сульфидов.

Вероятно, переплавлением гидротермально измененных пород за счет собственного ("запасенного") тепла, объясняется образование изолированных коровых магматических резервуаров (системы сближенных магматических тел?), питающих многочисленные сложные и моногенные вулканы хребта Вернадского. Эти представления находят подтверждение в литературе. М.П. Хохштейн пришел к заключению об аномальном привносе тепла (2000 МВт на 100 км), связанном с экструзиями и интрузиями риолитовых расплавов в вулканической зоне Таупо (Новая Зеландия), генерация которого не объясняется субдукционными процессами [52]. Изучение fumarol вулкана Насудаке (Япония) показало, что изменение содержания водорода происходит в результате окислительно-восстановительных реакций, в которых участвуют пирит, магнетит и метеорные воды [53] и происходит выделение тепла.

Примечателен факт "совпадения" значений температур окислений пирита и температур растущих куполов на андезитовых вулканах (~800°C в обоих случаях). Не исключена возможность проявления подобных процессов и в нижней коре или верхней мантии, поскольку, например, в зоне спрединга сульфидно-кремнистые породы могут находиться на глубине до 10 км или более. В то же время, несомненно, что коровые источники тепла формируются под влиянием магматических очагов глубокого (мантийного) заложения [42, 44].

Модель гидрогеологической и гидрохимической структуры. Распределение поверхностных термопроявлений дает основание предположить, что в Северо-Парамуширской гидротермально-магматической системе существует два латеральных горячеводных потока: северо-западный - Юрьевский - и юго-восточный, соответствующий собственно Северо-Курильскому месторождению. Юго-восточный поток трассируется fumarольными полями вулкана Эбеко и вскрыт глубокими скважинами (П-1, П-2, ГП-3), зафиксировавшими высокую температуру (130-210°C). Температуры в недрах северного и южного участков восточного склона вулкана Эбеко, по данным газовых геотермометров, оцениваются, соответственно, величиной 260-360 и 250-600°C [28]. Судя по этим данным, можно предполагать, что в границах юго-восточного горячеводного потока температура циркулирующих на глубинах 1500-2500 м термальных хлоридно-натриевых вод достигает 180-250°C. Логично предположить, что Северо-Курильское геотермальное месторождение находится в его пределах и имеет, несомненно, практическое значение для теп-лоэлектроснабжения г. Северо-Курильска. Водо-вмещающими являются здесь трещины и разломные зоны в относительно проницаемых вулканогенно-осадочных отложениях океанской и охотской свит. Экструзивно-интрузивные тела образуют водопроводящие и водопоглощающие трещинно-жильные структуры. Последние локализируются на глубинах 2-3 км над апикальными частями интрузивных тел. Глубинные воды хлоридно-натриево-го состава проявлены только на северо-западном склоне вулкана Эбеко в виде Юрьевских источников. На восточном склоне эти воды не обнаружены, что объясняется более глубоким положением основного резервуара гидротерм, перекрытого толщей четвертичных и неогеновых пород. Наличие пластов слабопроницаемых отложений в нижней части четвертичных пород, гидротермально измененных кислыми растворами конденсатного происхождения, способствует изоляции потока высокотемпературных хлоридно-натриевых гидротерм от грунтового потока четвертичного водоносного комплекса. Зоны разрывных нарушений в пределах площади распространения высокотемпературных гидротерм играют роль дрен и для нисходящего потока инфильтрацион-

ных терм поверхностного формирования, которые при взаимодействии с окружающими породами нейтрализуются и изменяют первичные вулканогенные породы в пластичные и хорошо разбухающие глины, кольматирующие трещины. Этот процесс приводит к надежной изоляции нижележащих гидротерм хлоридно-натриевого состава от просачивания "холодных" поверхностных вод и способствует поддержанию высокотемпературного режима в недрах месторождения.

Гидрохимическая структура потока гидротерм Северо-Парамуширской системы имеет сложное строение на участках формирования локальных резервуаров, где происходит подземное кипение гидротерм. За счет миграции парогазовой смеси по трещинам в верхнем водоупорном горизонте и смешения их с грунтовыми водами приповерхностного формирования образуются кислые сульфатные термы различной минерализации ("псев-дофумарольные термы" поверхностного формирования по В.В. Иванову [20]). Глубинные хлоридно-натриевые воды от источника нагрева, которым может служить система остывающих магматических тел, связанных с залегающим на глубинах более 3-5 км периферическим магматическим очагом, фильтруются по проницаемым пластам и зонам в северо-западном и юго-восточном направлениях к региональному базису дренирования. Основная разгрузка гидротерм происходит ниже уровня моря, либо в рассредоточенном виде в вышележащих грунтовых и слабонапорных водоносных горизонтах.

Оценка прогнозных ресурсов Северо-Курильского геотермального месторождения. Прогнозные геотермальные ресурсы Северо-Курильского месторождения оценены двумя способами: 1) по естественному выносу тепла поверхностными термопроявлениями; 2) по данным определения тепловой энергии, содержащейся в горных породах, насыщенных флюидом. В первом случае прогнозная оценка геотермальных ресурсов дается с учетом коэффициента увеличения естественной тепловой мощности. Тепловая мощность Северо-Парамуширской гидротермальной системы может быть оценена приближенно, на основе определения выноса тепла поверхностными термопроявлениями [43, 57]. Вынос тепла термопроявлениями юго-восточного потока системы составляют 10 850-14 300 ккал/с (табл. 2). Сумма выноса тепла поверхностными термоаномалиями отождествляется с минимальными геотермальными ресурсами. Значения коэффициента определены по сопоставлению эксплуатационных запасов ряда геотермальных месторождений и тепловой мощности естественной разгрузки гидротерм. Для гидротермальных систем Камчатки коэффициент увеличения эксплуатационных запасов в сравнении с естественной тепловой мощностью изменялся от 3 до 7. Увеличение мощности сква-

жинного водозабора объясняется дополнительным привлечением в процессе эксплуатации термальных вод за счет перетекания флюида из других горизонтов, снятия тепла, запасенного горными породами резервуара. Принимая в отношении к Северо-Парамуширской системе коэффициент увеличения мощности равным 3, получим величину прогнозных ресурсов в 43 000 ккал/с, что соответствует 16.5 МВт электрической мощности и 150 кг/с воды с температурой 120-130°C.

Подсчет ресурсов, выполненный по запасенному в блоке горных пород теплу, выделяемому в границах предполагаемого месторождения (объемный метод), дает большую их величину, причем объемный метод оценки прогнозных ресурсов считается более надежным [56]. Применение метода предусматривает оценку тепловой энергии, содержащейся в горных породах, насыщенных флюидом. Для этого необходимо определить объем блока нагретых горных пород (геотермального резервуара), их температуру и удельное теплосодержание. При определении объема резервуара его высоту (до получения данных разведки) можно принять, по аналогии с изученными типовыми системами, равной 2.5 км, исходя из залегания кровли на глубине 0.5 км и базовой глубины систем 3 км. Площадь вычислена по распространению поверхностных термопроявлений с учетом особенностей геологического строения и гидрогеологических условий участка [57]. Расстояние от термальных полей вулкана Эбеко до первых высокотемпературных скважин составляет 5.5 км. Ширину предполагаемого единого потока гидротерм принимаем равной расстоянию между геотермальными скважинами П-1 и ГП-3 (около 1.8 км). Полученная при этом площадь резервуара (около 10 км²), из-за неточного определения ширины потока, принимается нами с погрешностью в 30%. О температуре в недрах системы можно судить по измерению температуры в скважинах (максимальная 210°C) и расчету по геохимическим газовым термометрам (260-360°C). Для приближенных расчетов энергии в резервуаре температура принята в целом для всего объема = 200°C, что соответствует средней температуре многих горячеводных систем.

Удельная теплоемкость пород, насыщенных водой и паром, принята равной 2.7 Дж/см³°C, коэффициент извлечения тепловой энергии резервуара - 25%, а отношение тепловой энергии резервуара к полезной работе - 0.057 для резервуаров со средней температурой 200°C; коэффициент электрического использования для горячеводных систем равен 0.4 [55].

Ожидаемая мощность ГеоТЭС подсчитывается по тепловой энергии резервуаров (qR):

$$qR = VC(T-T_1),$$

где T - средняя температура ($^{\circ}\text{C}$) в недрах системы в слое 0.5-3.0 км (200°C), T_1 - среднегодовая температура воздуха (для Северо-Курильских островов около 0°C), C - удельная теплоемкость горных пород, насыщенных флюидов (2.7 Дж/см^3). Для Северо-Курильского месторождения, при $V = 25 \pm 7.5 \text{ км}^3$, $qR = 13.5 \pm 4.0 \times 10^{18} \text{ Дж}$. При соотношении полезной работы и тепловой энергии резервуара, равном 0.057, известная тепловая энергия на устье скважин (0 составит $0.77 \pm 0.23 \times 10^{18} \text{ Дж}$). Мощность ГеоТЭС определяется из соотношения: $E = Q\eta/t$, где: η - коэффициент перевода тепловой энергии резервуара в электрическую (0.4), t - время использования энергии резервуара при работе электростанции (принимается 100 лет). Мощность ГеоТЭС на Северо-Курильском месторождении составит $97.6 \pm 29.3 \text{ МВт}$.

Таким образом, геотермальные ресурсы Северо-Курильско-Парамуширской гидротермально-магматической системы в целом, подсчитанные двумя способами, ориентируют на строительство в перспективе ГеоТЭС мощностью от 16.5 до 100 МВт. Суммарная установленная электрическая мощность дизельной электростанции г. Северо-Курильска в настоящее время составляет 4.8 МВт, а тепловая мощность котельных - 16 Гкал/ч. Потребная электрическая мощность г. Северо-Курильска на ближайшую перспективу составляет 8-15 МВт; теплопотребление - около 24 Гкал/ч. Прогнозные геотермальные ресурсы, как видно, превышают величину существующей и требуемой тепловой и электрической мощности и могут быть надежным ориентиром для постановки разведочных работ с целью оценки запасов и эксплуатационного бурения для извлечения необходимого количества природного теплоносителя, обеспечивающего энергетический комплекс г. Северо-Курильска.

Выводы. 1. Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая конвективная система является сложной, крупной и длительно развивающейся системой, находящейся в настоящее время на этапе становления островной дуги. Она сформировалась и действовала на протяжении длительного времени (с палеогена доныне). Ведущим в ее развитии был вулканический процесс, обеспечивающий почти непрерывное (в геологическом масштабе времени) поступление глубинных магматических расплавов в недра и на поверхность Земли.

2. Питание Северо-Парамуширской гидротермально-магматической конвективной системы осуществляется за счет передачи тепла и вещества от магматического источника, происхождение которого может быть как первичным (генерация расплавов на уровне верхней мантии - периферического магматического очага - субвулканического тела), так и вторичным (переплавление гидротермально измененных пород за счет горения

сульфидов и, возможно, других новообразованных минералов).

3. Прогнозные ресурсы Северо-Курильского геотермального месторождения, сформированного в недрах восточного сектора Северо-Парамуширской системы, эквивалентны электрической мощности порядка 100 МВт, что является надежным основанием (многократное превышение запасов над требуемыми) для проведения работ по строительству ГеоТЭС с целью теплоэлектро-снабжения г. Северо-Курильска.

Авторы глубоко признательны научному руководителю работ ИВ ДВО РАН в рамках Федеральной целевой программы "Курилы" академику С.А. Федотову за внимание и поддержку направления исследований. Мы также благодарим С.Ф. Главатских, И.Ф. Делемена, Д.Ю. Кузьмина, Ю.Д. Кузьмина, В.Л. Леонова, В.Г. Пушкарева, Е.И. Сандимирову, И.Б. Слоцова, А.В. Сокоренко, С.М. Фазлуллину за помощь в полевых исследованиях и обсуждение основных результатов работы. В статье использован большой объем химико-аналитических исследований, выполненных А.М. Округиной и Т.Г. Осетровой; определений минералов на микрозонде "Camebax" (Т.М. Философова и С.В. Москалева); спектральных и ртутнометрических анализов (И.И. Степанов, Н.И. Чеброва); фотоматериалов (В.Н. Двигало и А.В. Сокоренко). Компьютерная обработка графики выполнена Н.П. Егоровой. Упомянутым выше коллегам и всем, способствовавшим проведению работы, мы выражаем свою благодарность.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы социально-экономического развития Курильских островов и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 00-05-64175а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аверьев В.В.* Гидротермальный процесс в вулканических областях и его связь с магматической деятельностью // Современный вулканизм. М.: Наука, 1966. С. 118-128.
2. *Апрелков С.Е.* Тектоника и история вулканизма Южной Камчатки // Тектоника. 1971. № 2. С. 105-111.
3. *Белоусов В.И., Сугробов В.М.* Геологическая и гидротермическая обстановка геотермальных районов и гидротермальных систем Камчатки // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1976. С. 5-22.
4. *Белоусов В.И., Рычагов С.Н., Белоусова С.П., Кузьмин Ю.Д.* Гидротермально-магматические (вулканогидротермальные) конвективные системы, комплексная модель: этапы развития, геолого-гидрогеотермическая структура, гидротермальный метаморфизм, механизмы функционирования // Минералогическое образование в вулканогидротермальных системах

- островных дуг: от модели к эксплуатации. Петропавловск-Камчатский: ИВ ДВО РАН, 1998. С. 189-194.
5. Белоусов В.И., Рычагов С.Н., Кузьмин Ю.Д. и др. Адсорбционные свойства гидротермальных систем и перспективы их использования для консервации радионуклидов и других промышленных отходов // Экологическая химия. 1999. Т. 8. Вып. 4. С. 262-277.
 6. Белоусов В.И., Рычагов С.Н., Фазлуллин С.М. и др. Кремнезем в высокотемпературных гидротермальных системах областей современного вулканизма // Экологическая химия. 1988. Т. 7. Вып. 3. С. 200-216.
 7. Бернштейн В.А., Сивожелезов С.С., Федорченко В.И., Шилов В.Н. Геофизические наблюдения на некоторых вулканах хребта Вернадского // Тр. СахКНИИ. 1966. Вып. 16. С. 44-65.
 8. Богданов Ю.А. Гидротермальные рудопоявления рифтов Срединно-Атлантического хребта. М.: Научный мир, 1997. 164 с.
 9. Власов Г.М. Вулканические отложения серы и некоторые вопросы близповерхностного рудообразования // Тр. Лаб. вулканологии. 1958. Вып. 13. С. 166-178.
 10. Воронова Л.Г., Сидоров С.С. Химический состав современных гидротерм // Тр. СахКНИИ. 1966. Вып. 16. С. 148-161.
 11. Гаврилов В.К., Соловьева И.А. Вулканогенно-осадочные формации геосинклинальных поднятий Малых и Больших Курил. Новосибирск: Наука, 1973. 152 с.
 12. Геолого-геофизический атлас Курило-Камчатской островной системы. Л.: ВСЕГЕИ, 1987. 36 л.
 13. Гидрогеология СССР. Т. 29 / Под ред. Голевой Г.А. М.: Недра, 1972. 364 с.
 14. Гориков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 288 с.
 15. Готлиб А.Д. Доменный процесс. М.: Металлургия, 1966. 503 с.
 16. Гриб Е.М. Петрология продуктов извержения 2-3 января 1996 г. в кальдере Академии Наук // Вулканология и сейсмология. 1998. № 5. С. 71-97.
 17. Желубовский Ю.С. Тектоника. Геология СССР. Т. 31. М.: Недра, 1964. С. 609-620.
 18. Зеленое К.К. Вулканы как источники рудообразующих компонентов осадочных толщ. М.: Наука, 1972. 215 с.
 19. Зубков В.А. Глобальные климатические события плейстоцена. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 288 с.
 20. Иванов В.В. Основные закономерности формирования и распространения термальных вод Камчатки // Тр. Лабор. вулканологии АН СССР, 1958. Вып. 13.
 21. Кононов В.И. Геохимия термальных вод областей современного вулканизма (рифтовых зон и островных дуг). Тр. ГИН, вып. 379. М.: Наука, 1983. 216 с.
 22. Кононов В.И., Ткаченко Р.И. Береговые термы и особенности их формирования // Гидротермальные минералообразующие растворы областей активного вулканизма. Новосибирск: Наука, 1974. С. 38-46.
 23. Коржинский Д.С. Очерк метасоматических процессов // Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. М.: Изд-во АН СССР, 1955. С. 335-456.
 24. Мархинин Е.К., Стратула Д.С. Гидротермы Курильских островов. М.: Наука, 1977. 212 с.
 25. 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.
 26. Меняйлов И.А., Никитина Л.П., Будников В.А. Активность вулкана Эбеко в 1987-1991 годах. Характер извержений, особенности их продуктов, опасность для г. Северо-Курильска // Вулканология и сейсмология. 1992. № 6. С. 21-33.
 27. Меняйлов И.А., Никитина Л.П., Храмова Г.Г. Газогидротермальное извержение вулкана Эбеко в 1967 г. // Бюл. вулканол. станций. 1969. № 45. С. 3-6.
 28. 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.
 29. Наковник Н.И. Вторичные кварциты СССР. М.: Недра, 1968. 335 с.
 30. Нехоршее А.С. Геотермические условия и тепловой поток вулкана Эбеко // Бюл. вулк. станций, 1960. № 29. С. 38-46.
 31. Никитина Л.П. Миграция металлов с активных вулканов в бассейн седиментации. М.: Наука, 1978. 80 с.
 32. Опыт комплексного исследования района современного и новейшего вулканизма (на примере хр. Вернадского, о. Парамушир) // Тр. СахКНИИ. Вып. 16. Южно-Сахалинск. 1966. 208 с.
 33. Павлова Т.Г. Медно-порфировые месторождения (закономерности размещения и критерии прогнозирования). Л.: Недра, 1978. 275 с.
 34. Рычагов С.Н. Брекчиевая структура геологической среды. Депонировано в ВИНТИ 04.04.89. Петропавловск-Камчатский, 1989. 62 с.
 35. 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.
 36. Рычагов С.Н., Главатских С.Ф., Гончаренко О.П. и др. Температурная и минералого-геохимическая характеристика геотермального месторождения Океанское (о-в Итуруп) // Геология рудных месторождений. 1993. Т. 35. № 5. С. 405-418.
 37. Рычагов С.Н., Главатских С.Ф., Сандимирова Е.И. Рудные и силикатные магнитные шарики как индикаторы структуры, флюидного режима и минералорудообразования в современной гидротермальной системе Баранского (о-в Итуруп) // Геология рудных месторождений. 1996. Т. 38. № 1. С. 31-40.

38. Рычагов С.Н., Главатских С.Ф., Сандиминова Е.И. Рудные и силикатные магнитные шарики как индикаторы структуры и флюидного режима современной гидротермальной системы Баранского (о. Итуруп) // Докл. РАН. 1997. Т. 356. № 5. С. 677-681.
39. Сергеев К.Ф. Тектоника Курильской островной системы. М.: Наука, 1976. 240 с.
40. Сидоров С.С. Активизация вулкана Эбеко и эволюция его гидротермальной деятельности в предшествующий период // Бюл. вулк. станций. 1966. №40. С. 61-69.
41. Современные гидротермальные системы и эпitherмальные золото-серебряные месторождения Камчатки: Путеводитель экскурсий Российско-Японского полевого семинара "Минерало-рудообразования в островодужных вулcano-гидротермальных системах: от модели к эксплуатации". 25 июля - 2 августа 1998 г. ИВ ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский, 1998. 88 с.
42. Структура гидротермальной системы. М.: Наука, 1993. 298 с.
43. Сугробов В.М. Геотермальные энергоресурсы Камчатки и перспективы их использования // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1976. С. 267-281.
44. Сывороткин В. Л. Коровые вулканы Курило-Камчатской дуги. М.: АОЗТ "Геоинформмарк", 1996. 52 с.
45. Сывороткин В.Л., Русинова С.В. Есть ли лавовые плато на о. Кунашир? // Тихоокеанская геология. 1989. № 4. С. 103-107.
46. Туговик Г.И. Флюидно-эксплозивные структуры и их рудоносность. М.: Наука, 1984. 193 с.
47. Фазлуллин С.М. Геохимическая система реки Юрьева (Курильские острова). Ч. I: условия поступления и выноса химических элементов в бассейне реки // Вулканология и сейсмология. 1999. № 1. С. 54-67.
48. Федорченко В.И., Абдурахманов А.И., Родионова Р.И. Вулканизм Курильской островной дуги: геология и петрогенезис. М.: Наука, 1989. 238 с.
49. Чухров Ф.В. Коллоиды в земной коре. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 671 с.
50. Chigira M., Nakata E., Watanabe V. Self-sealing of rock water systems by silica precipitation // Water-rock Interaction. 1995 / Ed.: Kharaka, Chudaev. P. 73-77.
51. Giggenbach W.F., Garcia N.P., Londono A. et al. The chemistry of fumarolic vapor and thermal-spring discharge from the Nevado del Ruiz volcanic-magmatic-hydrothermal system, Colombia // J. Vol. Geoth. Res. 1990. №42. P.13-39.
52. Hochstein M.P. Crustal heat transfer in the Taupo Volcanic Zone (New Zealand): comparison with other volcanic arcs and explanatory heat source models // J. Vol. Geoth. Res. 1995. V. 68. Issue 1-3. P. 117-151.
53. Kiyosu Y., Okamoto Y. Variation on fumarolic H₂ gas and volcanic activity Nasodane in Japan // J. Vol. Geoth. Res. 1998. V. 8. № 1-2. P. 27-37.
54. Menyailov I.A., Nikitina L.P., Shapar V.N. Results of geochemical Monitoring of the activity of Ebeko volcano (Kuril Islands) used for eruption prediction // J. of Geodynamics. 1985. № 3. P. 259-274.
55. Assessment of Geothermal Resources of the United States, 1978 / Ed.: Muffler L.J.P., Geol. Surv. Circ., 1979. V. 790. 163 p.
56. Muffler L.J.P., Cataldi. Methods for regional assessment of geothermal resources // Geothermics. 1978. V. 7. № 2-4. P. 53-89.
57. Sugrobov V.M. Utilization of geothermal resources of Kamchatka, prognostic and future development // Proceeding the World Geothermal Congress. 1995. B.1549-1554.

North Paramushir Hydrothermal Magmatic Convective System: Geologic Structure, the Conceptual Model, Geothermal Resources

V. I. Belousov, S. N. Rychagov, V. M. Sugrobov

*Institute of Volcanology, Far East Division, Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatskii. 683006, Russia*

The geological, geophysical, hydrogeological, petrologic, mineralogic, geochemical and other characteristics of the North Paramushir hydrothermal magmatic convective system have been examined to derive a contemporary conceptual model for the system, to discuss its most likely heat supply sources, and to make assessments of future resources in the North Kuril geothermal field situated within the system here studied.