

ГЕОТЕРМИЯ И ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ

Т е м а: 3.1.6.3.,3.1.14.8.4. "Исследование регионального теплового потока, гидротермальных систем и неглубокозалегающих магматических очагов

Курило-Камчатского региона с оценкой геотермальных ресурсов с целью обеспечения базы геотермального теплоэнергоснабжения"

Лаборатория геологии геотермальных полей.

Научные руководители: д.г.-м.н. А.В.Кириухин, к.г.-м.н. В.Л.Леонов

Исследования развивались по трем главным направлениям:

1. Общие геолого-структурные позиции гидротермальных систем (В.Л.Леонов).

2. Геологическое строение и история развития кальдерных комплексов с целью восстановления эволюции коровых магматических очагов (В.Л.Леонов, Е.Н.Гриб, В.И.Андреев, А.Ю.Поляков, В.Е.Быкасов).

3. Эволюция структуры гидротермальных систем, пути миграции растворов, условия рудоотложения (С.Н.Рычагов, Е.И. Сандиминова, Т.Ю.Самкова, Е.Г.Лупикина, Н.А.Козлова, С.В. Коренева, Г.Заиченко).

Работы по последнему направлению в 1993-1995 гг. велись по проекту РДФИ N 93-05-08240 "Создание модели эволюции структуры гидротермальной системы как основы для разработки новой методики поисков, разведки и эксплуатации парогидротермальных и эпитептермальных рудных месторождений Курило-Камчатского региона" (С.Н.Рычагов). Кроме того, сотрудники лаборатории принимали участие в исследованиях по разделам ГНП N 18 "Глобальные изменения природной среды и климата" (В.Л.Леонов, Е.Г.Лупикина, Н.А.Козлова).

Общие геолого-структурные позиции гидротермальных систем

В рамках первого направления необходимо отметить, прежде всего, новые фундаментальные выводы об особенностях развития вулканической и гидротермальной деятельности в плиоцен-четвертичное время на Камчатке (Леонов, 1991). Показано, что большое влияние на развитие этих процессов оказывает последовательная горизонтальная миграция вулканизма в северо-восточном направлении, которая наиболее ярко проявляется в зонах крупных разломов. В результате этого процесса формиру-

ются закономерно устроенные ансамбли вулcano-тектонических структур, в пределах которых гидротермальные проявления занимают вполне определенные позиции. Мощность гидротермальных систем в них последовательно растет с югозапада на северо-восток, достигая максимума вблизи фронта вулканического пояса.

Проведенный анализ показывает, что современные высокотемпературные гидротермальные системы фокусируют длительные направленные процессы тектоно-магматической активности, развивающейся на больших площадях, охватывающих до 200-250 км вулканического пояса, что значительно превышает как площадь отдельных вулканов и вулcano-тектонических структур, так и площадь вулканических центров или центров эндогенной активности, как их понимают О.Н.Егоров, Ю.П.Масуренков и другие. Это требует, по-видимому, нового подхода к изучению условий протекания современной гидротермальной деятельности, а также к изучению условий размещения гидротермальных месторождений в палеовулканических областях.

Впервые на процессы миграции вулканизма в таком плане, как это рассмотрено нами, и на значение этого явления для геотермальных исследований обратили внимание американские ученые в докладе, представленном на Второй симпозиум ООН по развитию и использованию геотермальных ресурсов (Makleod, Walker, Mckee, 1976). Однако должного отклика эта работа в свое время не получила. Последние работы, в частности сводка по США Р.Смита и Р.Лудке (1984), показали, что процессы миграции вулканизма обычны для многих вулканических районов. Полученные выводы - новый шаг в этом направлении исследований. Они показывают, что подобная миграция при определенных условиях возможна и в пределах островных дуг. Представляется, что для геотермии (также, как для оценки вулканической опасности) эти работы имеют большое значение.

Второй результат, который можно отметить в рамках данного направления исследований, это составление таблицы, систематизирующей имеющиеся данные о скоростях протекания вулканических и гидротермальных процессов в геотермальных районах мира (Леонов, 1992). Показано, что существует тесная связь между длительностью фаз гидротермальной активности, периодичностью и составом вулканических проявлений и мощностью земной коры. Выделено три типа геотермальных районов, развитых соответственно на океанической, переходной и континентальной земной коре. Определены особенности развития вулканизма и гидротермальной деятельности в каждом из выделенных типов геотермальных районов.

Существующие до этого попытки типизации геотермальных районов на основе тектоники плит (Muffler, 1976; Rybach, 1981) нельзя признать вполне удачными, так как в них в одну группу попадали районы, мало похожие друг на друга (например, Йеллоустон и Гавайи). Предложенный подход лишен этих недостатков и

и имеет перспективы для дальнейшего развития и детализации. Он показывает, что как при постановке работ на новых геотермальных месторождениях, так и при сравнительном анализе различных месторождений друг с другом необходимо учитывать их тектоническое положение и, особенно, мощность земной коры и скорость ее растяжения. Последние определяют тип месторождения, длительность его существования и перспективы для геотермальной эксплуатации.

Геологическое строение и история развития кальдерных комплексов с целью восстановления эволюции коровых магматических очагов

Исследования по второму направлению велись на примере двух верхнеплейстоценовых вулканотектонических депрессий Камчатки: Узон-Гейзерной и Больше-Семячинской. С ними связаны одноименные высокотемпературные гидротермальные системы. В серии статей и подготовленной к печати монографии Е.Н.Гриб и В.Л.Леоновым детально описаны основные структурные элементы и магматические комплексы, осуществлена их возрастная привязка, определены составы парагенезисов минеральных фаз, оценены физико-химические условия кристаллизации расплавов и эволюция магматического вещества во времени. Исследована роль глубинных базальтовых расплавов в формировании кислых магм и в процессах смешивания расплавов. Процессы эти рассматриваются как одни из ведущих факторов, объясняющих многообразие пород наряду с кристаллизационной и магматогенно-флюидной дифференциацией.

Реконструирована динамика магматических очагов во времени, выделены основные этапы развития вулcano-тектонических кальдерных комплексов, определена стадийность работы магматических очагов. На основании изменения валового состава пирокластических отложений, связанных с образованием вулcano-тектонических депрессий и состава минеральных фаз как в отдельных пирокластических потоках, так и в течение всего кальдерообразующего этапа, установлено существование расслоенности расплава в магматическом резервуаре: в верхней его части формируется "шапка" кислых (риолитовых, риодацитовых) расплавов, которые ниже могут сменяться дацитовыми и андезито-дацитовыми. Зональность формируется в периоды длительного отстоя расплава в условиях относительно закрытой магматической системы и фиксируется только в случае выброса больших объемов пирокластического материала в ходе катастрофических эксплозивных извержений.

В разрезах пирокластических отложений выявлен новый тип игнимбритоподобных пород андезито-базальтового состава. Они образуют маломощные слои среди пемзовых агломератовых туфов и представлены в различной степени спекшимися шлаковыми туфами. Установлена пирокластическая порода лавоподобных разностей этих

кластических потоков: наличие фьяммеподобных обособлений расплава, пепловых его фрагментов, прерывистых флюидальных текстур, указывающих на течение пирокластического и присутствие тонкообломочного ксеногенного материала. Игнимбритоподобные породы андезито-базальтового состава, очевидно, представляют собой глубинные части зональных магматических резервуаров или самостоятельные промежуточные очаги, расположенные ниже. Поступая в основание верхнекоровых магматических камер, они вызывают конвекцию в верхних ее этажах и могут провоцировать эксплозивные извержения.

Установлен различный характер посткальдерного вулканизма в изученных структурах. В одном случае (кальдера Большого Семьячика) в процессе кальдерообразующего извержения зона кислого расплава в верхнекоровом магматическом резервуаре была истощена полностью. Посткальдерный этап вулканической деятельности начался излиянием андезито-базальтового расплава, который дальнейшем эволюционировал до дацитов и риодацитов. В другом случае (Узон-Гейзерная вулcano-тектоническая депрессия) слой кислого расплава в очаге имел, очевидно, значительную мощность; и после формирования кальдеры кислый вулканизм продолжался внутри депрессии и вблизи ее границ. На протяжении верхнего плейстоцена и голоцена кислые расплавы в верхнекоровом магматическом резервуаре выполняли роль буфера для поднимающихся нижнекоровых базальтовых магм; последние изливались только за пределами депрессии.

История геологического развития кольцевых комплексов подтверждает идею существования в недрах структур конвективных магматических систем, состоящих из цепочек магматических камер, расположенных на разных уровнях в земной коре. Роль активного теплоносителя играют базальтовые расплавы, периодически внедряющиеся в верхние этажи земной коры и препятствующие консолидации расплава в коровых резервуарах. Последние выступают как аккумуляторы тепла, обеспечивающие тепловое питание высокотемпературных гидротермальных систем в течение длительного времени.

Эволюция структуры гидротермальных систем, пути миграции растворов, условия рудоотложения

Исследования по третьему направлению проводились под руководством С.Н. Рычагова. Они были поддержаны РФФИ (проект 03-05-08240). Результаты работ следующие.

Изучена структура длительноживущей рудоносной гидротермальной системы во взаимосвязи и взаимозависимости всех ее элементов: пород, зон разрывных нарушений, гидротермально-метасоматических фаций, гидрогеологических структур, геохимических барьеров и других составляющих. Установлено, что структура

ских барьеров и других составляющих. Установлено, что структура гидротермальных систем, как современных высоко-, средне- и низкотемпературных (Баранского, Мутновской, Паужетской, Паратунской), так и неоген-четвертичных рудоносных (Аметистовой, Беляево, Выченкии) является неоднородно-блоковой: относительно монолитные и плотные (жесткие) сегменты, слабо проницаемые для парогидротерм, чередуются по вертикали и латерали с близкими по размеру разуплотненными и проницаемыми для растворов участками. Образуется иерархическая мозаично-блоковая (брекчиевая) структура на минеральном, породном и формационном уровнях, контролирующая поведение метеорных вод и гидротермальных растворов и формирование геохимических рудных барьеров, а также положение в пространстве гидротермальных систем. Непосредственно контролируют движение парогидротерм тектонические, гидротермальные и интрузивные брекчии, рудных флюидов - полимиктовые брекчии. Установлено, что в длительноживущих системах рудоконтролирующие разрывные нарушения на современном тектоно-маг-матическом этапе активизируются и используются для перетока термальных вод (Рычагов и др., 1993).

Исследовано изменение физико-химических свойств (степени перерождения) пород в зависимости от возраста гидротермальной системы. Петрофизические свойства пород современной высокотемпературной гидротермальной системы этапа прогрессивного развития определяются в основном их первичным составом, структурной и стратиграфической неоднородностью разрезов. Гидротермальные системы, находящиеся на этапах экстремального и регрессивного развития, отличаются высоким перерождением пород и соответственно низкими значениями большинства петрофизических параметров. Гидротермально-метасоматическое перерождение вулканитов высокотемпературной гидротермальной системы существенно или полностью меняет их физико-механические параметры только в трещинно-брекчиевых зонах, областях перехода жидкость-пар, приконтактных частях субинтрузивного тела диоритов. Элементы структуры всех изученных гидротермальных систем (горсты, относительно опущенные блоки, тектономагматические поднятия, экзоконтакты субинтрузивного тела, зоны вскипания гидротерм, верхний водоносный горизонт и верхний водоупор) отличаются контрастными петрофизическими свойствами. В вертикальных разрезах гидротермальных систем в области восходящего теплового потока установлена система горизонтов (блоков) мощностью 50-150 и 1-5 м с резко различными петрофизическими свойствами пород: это обстоятельство может служить основанием для постановки проблемы иерархичности геологических образований (Васильева и др., 1992; Ладыгин, Рычагов, 1991, 1995).

Реконструирована эволюция температурного режима и структуры проницаемости геотермального (эпитермального рудного) месторождения на примере Южной Камчатки. Температурное поле в недрах

ций вторичных минералов имеет неоднородное строение: устойчивые высокие значения в пределах горстов с интенсивным охлаждением пород на отдельных участках в верхних горизонтах, постепенное увеличение значений температур на глубину в относительно огущенных блоках и тектоно-магматических поднятиях, большие градиенты значений температур в экзоконтактовой зоне предполагаемого субинтрузивного тела. Широкое развитие в недрах гидротермальной системы имеют особые термодинамические зоны - переход жидкость-пар. Здесь происходит падение температуры минералообразования, формирование геохимических барьеров на ряд рудных и нерудных компонентов, образуются области сухого пара - на большой глубине или в верхних горизонтах системы при высоких температурах вмещающих пород (Рычагов и др., 1993, 1994).

Геотермический прогноз и совокупность петрографических, геохимических и геолого-структурных данных позволили выделить в пределах длительноживущего (не менее 10 тысяч лет) геотермального месторождения эволюционирующие в новейшее время локальные зоны перехода жидкость-пар или пародоминирующие системы (ПДС) в интервалах глубин 0-1000 м от дневной поверхности. ПДС функционируют в условиях неотектонических поднятий изометричных блоков пород. Парогазовый флюид локализован в трещинно-брекчиевых зонах ограничения блока, а также в системе внутриблоковых тектонических нарушений. ПДС ограничивается геохимическим барьером жидкость-пар, меняющим свое пространственное положение в процессе ее эволюции и фиксируется в геологическом разрезе зоной замещения пород криптокристаллическим кварцем с адуляром (а также с эпидотом, пренитом, вайрацитом). Зона геохимического барьера выделяется также аномальными содержаниями в породе щелочных элементов, мышьяка, серебра, золота и в некоторых случаях бора. Отложение на границе жидкость-пар показано нами на экспериментальной модели. Предложенный алгоритм выделения пародоминирующих систем (гидрогеотермический прогноз, морфоструктурное, литологическое, петрографическое и геохимическое изучение) позволил локализовать их во времени и пространстве. Изучение ПДС и следов их деятельности в геологическом прошлом дает принципиально новые данные к пониманию эволюции рудообразующих гидротермальных систем (Жатнуев и др., 1991).

Рассмотрены условия накопления и переноса золота, серебра, полиметаллов и ртути в области смешения термальных и метеорных вод месторождения парогидротерм. Наиболее контрастные аномалии золота установлены в водных потоках рассеяния, а в литохимических - серебра, свинца, цинка и меди. Аномальные содержания микроэлементов приурочены к приподнятым тектоническим блокам, с которыми связана активная разгрузка современных гидротерм.

Выделены и детально охарактеризованы минеральные рудные и силикатные образования в форме шаровидных глобул, установленные в пределах современных высокотемпературных систем (Рычагов и др., 1996). Методами минералогического, микронзондового и рентгенофазового анализов идентифицированы глобулы самородного железа, магнетита, железо-титан-марганец-силикатные (гранат - шорломит) и зональные с железом, иоцитом, магнетитом. Глобулы включают микропримеси никеля, марганца, титана, меди - до 5%; имеют преимущественно правильную форму, часто полые и высокопористые, размером до 1,7 мм. Все глобулы магнитны в различной степени. Предположительно глобулы привнесены в метасоматиты "сухим" восстановленным флюидом, имеющим температуру не менее 500-600 °С, с глубин 1,5-2,0 км. Источником их, по-видимому, служит субинтрузивное тело диоритов или периферический очаг, питающие гидротермальную систему.

Глобулы трассируют открытые на глубину более 1,5 км термopодводящие зоны тектонических нарушений в структурах горстов. Флюид привносит во вмещающие породы в микроколичествах железо, магний, марганец, титан, хром, медь, свинец, золото, серебро, алюминий, мышьяк, кремний, калий, натрий, кальций и др. Сульфиды, рассеянные относительно равномерно в объеме гидротермальной системы, содержат еще более широкий спектр рудных и нерудных элементов в количестве до 3,2%, что согласуется с составом современных глубинных гидротермальных растворов. Зоны восходящего и нисходящего потоков гидротерм отличаются составом микропримесей в сульфидах. Резким уменьшением количества микропримесей характеризуются мощные зоны перехода жидкость-пар, на границах которых, наоборот, формируются геохимические барьеры и идет накопление рудных, редких щелочных и других элементов в сульфидах и во вмещающих кварцадуляровых метасоматитах.

В результате исследований впервые в России построена модель эволюции структуры длительноживущих рудоносных гидротермальных систем, формирующихся в кальдерных комплексах и в постройках стратовулканов. Модель послужит основой для разработки качественно новой методики поисков, разведки и эксплуатации парогидротермальных и эпитермальных рудных месторождений вулканогенных районов и, возможно, областей тектономагматической активизации.

Научный сотрудник Е.Г.Лупикина принимала участие в комплексных исследованиях по двум темам. По теме ГНТП "Глобальные изменения природной среды и климата" ею проведено обобщение материалов палеоботанических исследований эоплейстоценовых-среднеплейстоценовых отложений глубоких скважин Центральной Камчатской депрессии в стратиграфическом аспекте. Опубликованы данные по исследованию диатомовых водорослей и распределению аморфного кремнезема в поверхностных осадках южной части Коман-

дорской котловины. Сделан вывод о возрасте отложений и значительном влиянии гидрологического режима в районе Командорских островов и массива Вулканологов на формирование танатоценозов в плейстоцене.

В решении технических заданий к разделу 1.4. ГНТП N 18 "Эволюция процессов рудообразования и прогноз минеральных ресурсов" в аспекте выяснения роли биоты в геохимических и литологических процессах в водоемах и водотоках геотермальных полей Камчатки выявлены комплексы доминирующих видов диатомовых водорослей в озерах с различным температурным и гидрохимическим режимом на территории кальдеры вулкана Узон (озера Центральное, Дальнее, Хлоридное, Серное и др.), в озере Штюбеля кальдеры вулкана Ксудач; для доминирующих и субдоминирующих синезеленых водорослей в водотоках и гейзеритовых постройках гейзеров Великан, Жемчужный и Тройной, дана их количественная характеристика с применением новой методики (модификация методики стекол обрастания). Выявлены факты влияния водной среды озер, генетически связанных с вулканизмом, на морфогенез диатомей.

В процессе комплексных режимных наблюдений на оз. Карымском в период начавшейся активизации вулкана Карымский (в январе 1996 г.) зафиксировано резкое изменение в альгологических сукцессиях: полное исчезновение основной многолетней доминирующей составляющей - диатомовой флоры и начальное развитие синезеленых с крайне низкой биомассой (до 0,1 мг/л).

Основные публикации

1. Васильева Ю.В., Ладыгин В.М., Рычагов СЕ. и др. Петрофизические свойства гидротермально-измененных пород // Современное вулканогенно-гидротермальное минералообразование. Ч.И., Владивосток, 1992. С. 29-50.

2. Глезер З.И., Лупикина Е.Г., Фазлуллин С.М. Некоторые аспекты формирования экосистемы кальдерных озер (на примере голоценового озера Горячего, о. Кунашир // Экосистемные перестройки и эволюция // Тез. докл. XXXVII сессии Всесоюзн. палеонтол. общ. Л.: 1991. С. 21-23.

3. Гриб Е.Н., Леонов В.Л. Игнимбриты кальдеры Большой Семячик (Камчатка): состав, строение, условия их образования // Вулканология и сейсмология. 1992. N 5-6. С. 34-50.

А. Гриб Е.Н., Леонов В.Л., Поляков А.Ю. Игнимбриты Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии, Камчатка: сопоставление разрезов, состав, условия образования. // Вулканология и сейсмология. 1993. N 5. С. 15-33.

5. Долматова Л.М., Лупикина Е.Г., Торохов П.В. Особенности диатомовой флоры из донных осадков южной части Командорской котловины // ДАН. Океанология. 1993 Т. 326. N 6. С. 735-737.

6. Егорова И.А., Лупикина Е.Г., Озорнина С.П., Лоншакова В.В., Сорокина В.К. Новые палеоботанические исследования эоплейстоценовых отложений Центральной Камчатской депрессии //Материалы Международного симпозиума "Стратиграфия и корреляция четвертичных отложений Азии и Тихоокеанского региона". М., Наука. 1991. С.48-62.

7 Жатнуев Н.С., Рычагов С.Н., Миронов А.Г. и др. Пародоминирующая система и геохимический барьер жидкость-пар Верхнего термального поля Паужетского месторождения //Вулканология и сейсмология. 1991. N 1. С. 62-78.

8.Ладыгин В.М., Рычагов С.Н., Васильева Ю.В. и др. Петрофизические свойства метасоматитов Паужетского месторождения парогидротерм (Ю.Камчатка)//Вулканология и сейсмология. 1991. N 6. С. 95-110.

9.Ладыгин В.М., Рычагов С.Н. Гидротермальная система вулкана Баранского, о-в Итуруп: блоковая структура и интенсивность гидротермально-метасоматического перерождения пород по петрофизическим данным //Вулканология и сейсмология. 1995. N 3. С. 28- 44.

10.Леонов В.Л. О некоторых закономерностях развития гидротермальной и вулканической деятельности на Камчатке //Вулканология и сейсмология. 1991. N 2. С.28-40.

11.Леонов В.Л. О влиянии мощности и скорости растяжения земной коры на характер развития вулканической и гидротермальной деятельности //Вулканология и сейсмология. 1992. N 4. С. 56-62.

12.Леонов В.Л. Линеаменты, трещиноватость и устойчивость склонов Ключевского вулкана //Вулканология и сейсмология. 1994. Т 6. С. 44-63.

13.Леонов В.Л.,Гриб Е.Н Вулкан Большой Семячик //Действующие вулканы Камчатки. Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 144-159.

14.Леонов В.Л., Гриб Е.Н., Карпов Г.А., Сугротов В.М., Сугрובה Н.Г., Зубин М.Н. Кальдера Узон и Долина Гейзеров. Действующие вулканы Камчатки. Т. 2. М.:Наука. 1991. С. 91-141.

15.Леонов В.Л., Иванов В.В. Землетрясения Карымского вулканического центра и их связь с тектоникой //Вулканология и сейсмология. 1994.N 2. С. 24-40.

16.Рычагов С.Н. Гидротермальная система вулкана Баранского, о-в Итуруп: модель геологической структуры //Вулканология и сейсмология. 1993.N 2. С. 59-74.

17.Рычагов С.Н., Ладыгин В.М., Васильева Ю.В. О возможностях использования комплексного изучения петрофизических свойств вулканогенных пород //Геофизические исследования в гидрогеологии, инженерной геологии. Ч. 1. Ташкент, 1991. С. 92-95.

18.Рычагов С.Н., Жатнуев Н.С., Коробов А.Д., Королева Г.П., Ладыгин В.М.и др. Структура гидротермальной системы. М.: Наука. 1993. 298 с.

19.Рычагов С.Н., Главатских С.Ф., Гончаренко О.П., Жатнуев Н.С., Коробов А.Д. Температурная и минералого-геохимическая характеристика геотермального месторождения Океанское (о-в Итуруп) //Геология рудных месторождений. 1993. Т. 35. N 5. С. 405-418.

20. Рычагов С.Н., Степанов И.И. Гидротермальная система вулкана Баранского, о-в Итуруп: особенности поведения ртути в недрах // Вулканология и сейсмология. 1994. № 2. С. 41-52.

21. Рычагов С.Н., Главатских С.Ф., Гончаренко О.П., Жатнуев Н.С., Коробов А.Д. Температурный режим вторичного минералообразования и структура температурного поля в недрах гидротермальной системы вулкана Баранского (о-в Итуруп) // Вулканология и сейсмология. 1994. № 8. С. 96-112.

22. 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.

23. Torokhov P.V., Lupikina E.G., Dolmatova L.M., Myasnikova R.M., Sorokhina E.V., Effects of hydrological regime on the composition of paleobiocoenoses in the region of massif of Volcanologists (Commander basin) // 2nd International conference on Asian Marine Geology (19-22 August 1992. Tokyo). P. 3. 19.