

УДК 551.21

РЕГИОНАЛЬНЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ПОЗИЦИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА КАМЧАТКЕ

©2001. В.Л. Леонов

Институт вулканологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006

Поступила в редакцию 24.01.2000 г.

Анализируются структурные условия размещения высокотемпературных гидротермальных систем на Камчатке. Показано, что последние располагаются в пределах плиоцен-четвертичных вулканических поясов и приурочены к участкам, где эти пояса накладываются на глубокие прогибы фундамента. Главными структурными элементами, которые определяют позицию высокотемпературных гидротермальных систем, являются разломы, ограничивающие такие прогибы. Эти разломы редко выходят на поверхность, их обычно перекрывает мощный осадочно-вулканогенный чехол, но над ними в чехле формируются системы молодых (преимущественно позднеплейстоцен-голоценовых) разрывов, которые протягиваются вдоль разломов, скрытых на глубине. Гидротермальные системы располагаются в тех местах, где эти системы поверхностных разрывов пересекают осложняющие разломы или грабены, имеющие поперечное или секущее положение. В таких узлах обычно формируются устойчивые, длительно существующие зоны проницаемости земной коры, в которых происходит постоянный подъем магм и гидротермальных флюидов, и на поверхности формируются сложные вулканические постройки, отличающиеся многовыходным вулканизмом и наличием экзотрибутивных куполов дацитового и риолитового состава. Термопроявления расположены обычно в пределах таких построек и (или) около них. Показано, что латеральное смещение гидротерм относительно построек связано с наклоном разломов, ограничивающих прогибы фундамента. Оно бывает направлено в сторону восстания плоскостей разломов.

На Камчатке известно около 150 групп термальных источников, но только на немногих из них температура воды на поверхности достигает точки кипения. Такие источники, среди которых часто встречаются гейзеры, рассматриваются обычно, как поверхностные проявления высокотемпературных гидротермальных систем (табли-

ца). Последние приурочены к вулканическим поясам, которые сложены многочисленными вулканами преимущественно плиоцен-четвертичного возраста (рис. 1). Выделяется два таких пояса: Восточно-Камчатский и Центрально-Камчатский (Срединный). Они вытянуты вдоль полуострова в северо-северо-восточном направлении и имеют каждый

Высокотемпературные гидротермальные системы Камчатки (по [27, 29])

№ на рис. 1	Гидротермальная система	Естественная тепловая мощность, мВт	Вид тепловой разгрузки на поверхности
1	Кошелевская	314	Перегретый и насыщенный пар
2	Паужетская	104.6	Насыщенный пар, вода (кипящая)
3	Ходуткинская	42	Источники 88°C
4	Мутновская	129 (522)*	Насыщенный пар
5	Больше-Банная	79	Вода (кипящая)
6	Карымская	146	Вода (кипящая)
7	Семьячикская	314	Перегретый и насыщенный пар
8	Гейзерная	321.5	Насыщенный пар, вода (кипящая)
9	Узон	268	Насыщенный пар, вода (кипящая)
10	Апательская	16	Вода (кипящая)
11	Киреунская	21.8	Вода (кипящая)

* С учетом тепловой разгрузки Северного кратера вулкана Мутновский.

длину около 700 км и ширину до 100-130 км. Гидротермальные системы, как и действующие вулканы Камчатки, приурочены преимущественно к Восточно-Камчатскому вулканическому поясу. В его пределах расположено 9 из 11 высокотемпературных гидротермальных систем, а также 28 из 29 действующих вулканов. В пределах Центрально-Камчатского (Срединного) вулканического пояса расположено две высокотемпературные гидротермальные системы и всего один действующий вулкан.

Гидротермальные системы распространены неравномерно, они объединяются в группы, расположенные на расстоянии 160-200 км друг от друга. В.В. Аверьев [1] предположил, что гидротермальные системы, расположенные поблизости, имеют общий источник теплового питания и предложил эти площади с аномально высоким тепловым режимом называть геотермальными районами. На Восточной Камчатке им были выделены три геотермальных района: Паужетский, Мутновский и Узон-Семячикский (рис. 1).

Геологическое строение большинства гидротермальных систем Камчатки изучено достаточно подробно. Есть множество работ, где можно найти детальные геологические карты, разрезы геотермальных площадей, данные о глубинном их строении, полученные на основе геофизических и буровых работ [2,6-8,12,13, 16,24,26,30]. С самого начала изучения гидротермальной активности была отмечена тесная связь ее с выходами пород кислого состава: экструзиями дацитов, риолитов, полями распространения пемз и игнимбритов [25, 28, 30]. Отмечалось, что многие гидротермальные системы располагаются в пределах вулканотектонических депрессий, кальдер, грабен. В ряде работ была рассмотрена связь высокотемпературных гидротермальных систем Камчатки с долгоживущими вулканическими центрами [2, 10, 21]. Тем не менее в изучении условий геологоструктурной локализации гидротермальных систем остается еще много неясного. Далеко не везде, где есть кальдеры, где наблюдаются проявления кислого вулканизма и где расположены долгоживущие вулканические центры, есть и гидротермальные системы. В ряде мест они, наоборот, встречаются в таких районах, где все эти признаки отсутствуют. Выяснение условий геологоструктурной локализации гидротермальных систем важно для определения стратегии разведочных работ на геотермальных месторождениях. Стоимость этих работ может быть значительно снижена, если будут выявлены общие закономерности расположения геотермальных площадей и будут поняты условия миграции гидротермальных флюидов в их недрах.

Автор в течение многих лет занимался изучением геологического строения гидротермальных систем Камчатки. Им были составлены деталь-

ные геологические карты на все районы, где на поверхности разгружаются гейзеры, кипящие источники или мощные струи перегретого и насыщенного пара [3, 9, 14-17, 19]. В результате этих работ были сделаны выводы, что высокотемпературные гидротермальные системы Камчатки связаны не столько с локальными особенностями геологического строения тех или иных участков земной коры, а, главным образом, с процессами, происходящими на больших площадях, охватывающих протяженные участки вулканического пояса длиной до 200-250 км. Гидротермальная деятельность как бы фокусирует в себе длительные направленные процессы тектоно-магматической активности, наиболее ярко проявляющиеся в зонах крупных разломов северо-восточного простирания, секущих под острым углом вулканические пояса [17, 18].

В настоящей работе автор развивает эти взгляды и показывает, что определенную роль в локализации высокотемпературных гидротермальных систем на Камчатке играют крупные прогибы земной коры, которые выявляются по данным региональных геофизических исследований [11, 22]. Описанные в предыдущих работах разломы северо-восточного простирания во многих случаях являются границами этих прогибов, но могут занимать и секущее по отношению к ним положение.

Структуры фундамента и условия размещения высокотемпературных гидротермальных систем в геотермальных районах Камчатки. Вулканические пояса на Камчатке наложены на разнородный фундамент. Основные элементы его строения видны на рис. 2, где показан рельеф поверхности, отождествляемой с докайнозойским (верхнемеловым) комплексом (схема составлена Ю.Ф. Морозом на основе интерпретации данных глубинных электромагнитных зондирований с привлечением всей полученной в последние годы геофизической информации). В качестве основных, наиболее крупных структур выделяются: Срединный массив, представляющий по своей геофизической характеристике наиболее жесткий и устойчивый к тектонической переработке блок земной коры, Камчатско-Корякский, Восточно-Камчатский и Тигильский антиклинории, Паланский, Центрально-Камчатский и Восточно-Камчатский прогибы [22]. Антиклинории и прогибы осложнены структурами более высокого порядка.

Восточно-Камчатский вулканический пояс на юге наложен на Южно-Камчатский антиклинорий и осложняющие его прогибы. Далее на северо-восток он пересекает Восточно-Камчатский прогиб и Восточно-Камчатский антиклинорий и заканчивается вулканами, расположенными в пределах Центрально-Камчатского прогиба. Центрально-Камчатский (Срединный) вулканический пояс наложен на Камчатско-Корякский антиклинорий, а в

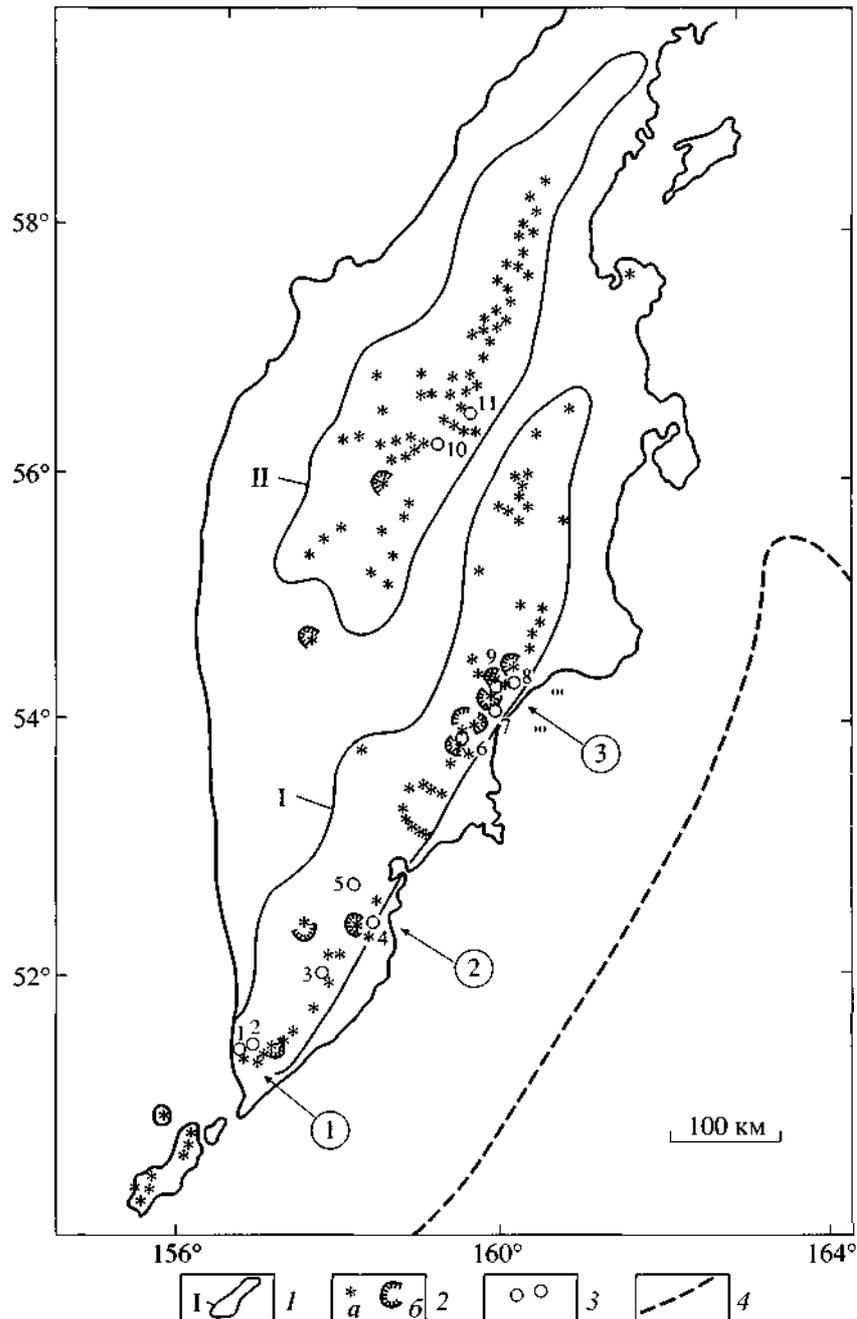
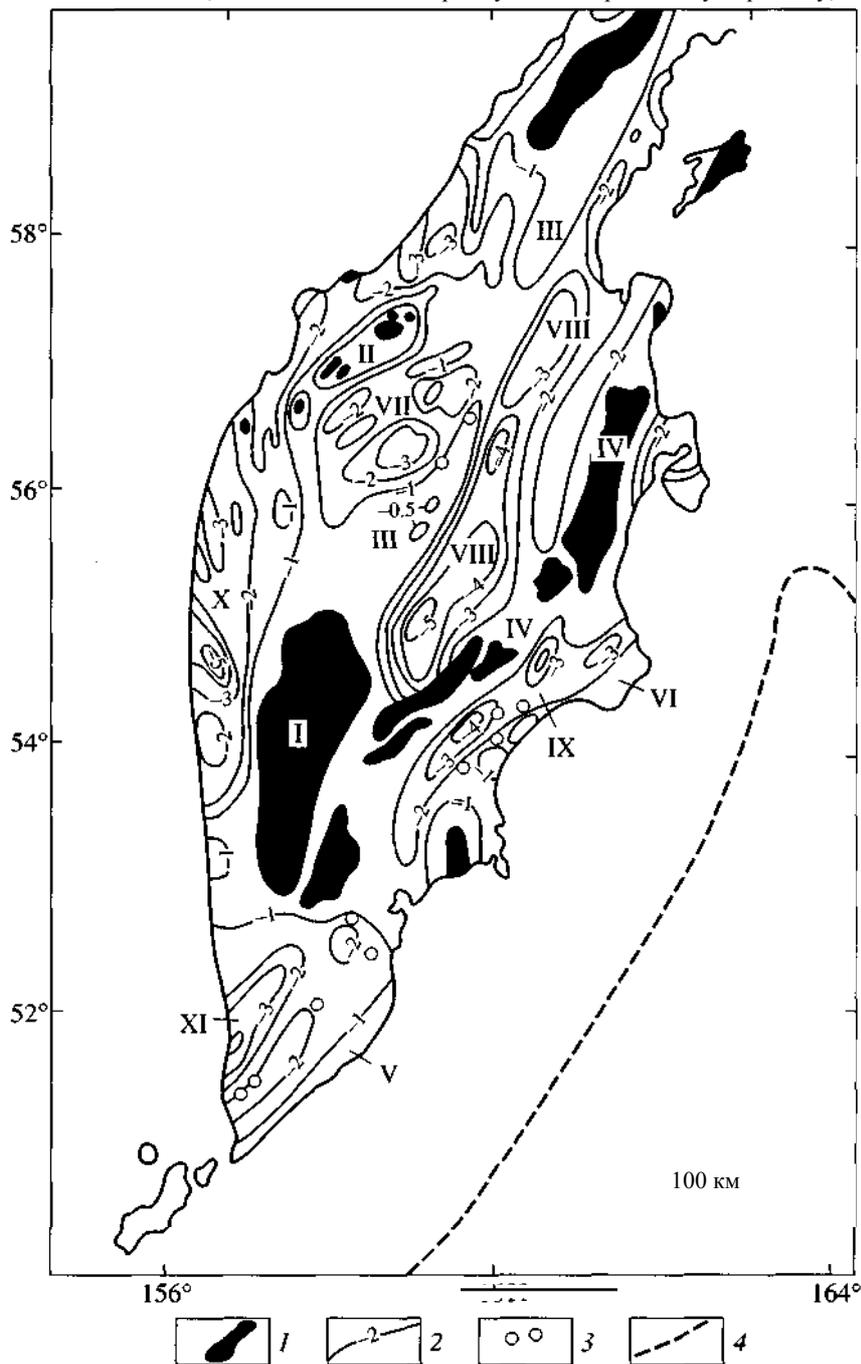


Рис. 1. Схема расположения вулканических поясов, основных вулканов и высокотемпературных гидротермальных систем на Камчатке: *I* - вулканические пояса: 1 - Восточно-Камчатский (Восточный); II - Центрально-Камчатский (Срединный); 2 - основные вулканы (а) и кальдеры (б); 3 - высокотемпературные гидротермальные системы, по [27, 29]: 1 - Кошелевская, 2 - Паужетская, 3 - Ходуткинская, 4 - Мутновская, 5 - Больше-Банная, 6 - Карымская, 7 - Семьячикская, 8 - Гейзерная, 9 - Узон, 10 - Апапельская, 11 - Киреунская; 4 - глубоководные желоба. Стрелки указывают на геотермальные районы, выделенные В.В. Аверьевым: 1 - Паужетский, 2 - Мутновский, 3 - Узон-Семьячикский.

центральной части - на Паланский прогиб. В тех местах, где вулканические пояса накладываются на поднятые участки фундамента, вулканизм проявлен обычно значительно слабее, чем в тех местах, где они накладываются на прогибы. Все наиболее крупные и сложные вулканы и вулканиче-

ские центры Камчатки расположены в прогибах фундамента. Высокотемпературные гидротермальные системы также приурочены в основном к тем участкам, где вулканические пояса пересекают прогибы, и концентрируются на границах последних (рис. 2).

Рис. 2. Структурная схема Камчатки, составленная по опорному геоэлектрическому горизонту, отождествляемому с



докайнозойским комплексом, по [22]: 1 - выходы пород докайнозойского комплекса; 2 - изолинии глубин, км; 3 - высокотемпературные гидротермальные системы (см. рис. 1); 4 - глубоководные желоба. Цифрами обозначены: I - Срединный массив; II—V - антиклинории: II - Тигильско-Хайрюзовский, III - Камчатско-Корякский, IV - Восточно-Камчатский, V - Южно-Камчатский; VI - зона поднятий восточных полуостровов; VII-XI - прогибы: VII - Паланский, VIII - Центрально-Камчатский, IX - Восточно-Камчатский, X - Ичинско-Колпаковский, XI - Голыгинский.

Конкретные позиции гидротермальных систем рассматриваются далее по районам, в которых они проявляются, отдельно на Южной, Восточной и Срединной Камчатке. Для каждого из этих районов анализируется расположение про-

гибов, соотношение их с поясами вулканов и с сетью разломов северо-восточного простирания.

Южная Камчатка. На Южной Камчатке геофизическими методами выявлено два крупных прогиба земной коры, имеющих общее северо-

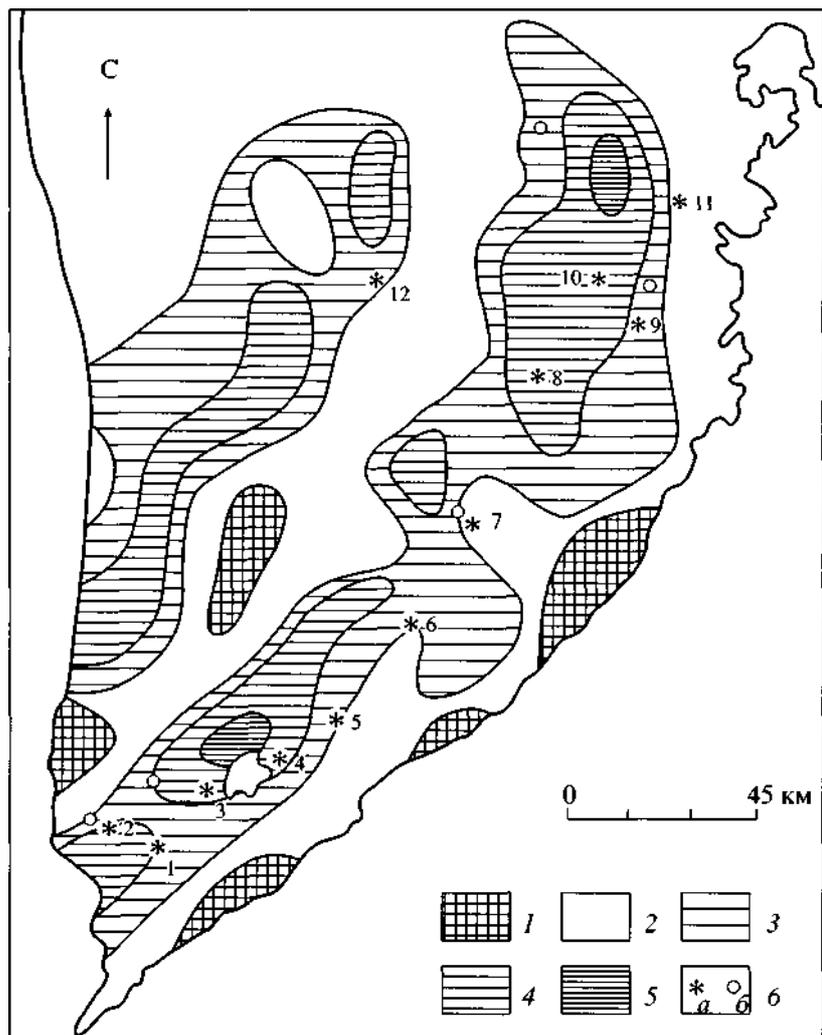


Рис. 3. Схема рельефа поверхности мелового фундамента Южной Камчатки, по [11]: 1-5 - глубина, км: 1 - менее 2; 2 - 2-2.5; 3 - 2.5-3; 4 - 3-3.5; 5 - более 3.5; 6 - вулканы (в) и высокотемпературные гидротермальные системы (б); цифрами отмечены вулканы: 1 - Камбальный, 2 - Кошелевский, 3 - Дикий Гребень, 4 - Ильинский, 5 - Желтовский, 6 - Ксудач, 7 - Ходутка, 8 - Асача, 9 - Мутновский, 10 - Горелый, 11 - Вилючинский, 12 - Опала.

восточное простирание и расположенных параллельно друг другу (рис. 2). Более детально структура прогибов вырисовывается на схеме рельефа поверхности мелового фундамента, построенной на основе комплексной интерпретации сейсмогравиметрических данных (рис. 3). В целом, очертания прогибов, выявленных на Южной Камчатке двумя разными методами, совпадают. Отличаются лишь значения глубины погружения пород. Далее, описывая размеры и форму прогибов, мы воспользуемся схемой, составленной на основе интерпретации сейсмогравиметрических данных. Позднечетвертичные вулканы, входящие в состав Восточно-Камчатского вулканического пояса, располагаются преимущественно вдоль прогиба, расположенного восточнее, и тяготеют к его юго-восточной границе. Ширина прогиба 30-40 км, в длину он протягивается примерно на 220-240 км. В пределах проги-

ба выделяется два обособленных участка: южный, где прогиб имеет северо-восточное простирание, и северный, где простирание прогиба близко к меридианальному. Каждый из этих участков имеет длину около 100 км. По данным М.И. Зубина [11], кровля мелового фундамента в пределах этого прогиба погружена на глубину 3-3.5 км, а кровля кристаллического фундамента - на глубину более 6 км.

Рассмотрим более подробно, какую позицию по отношению к описанному прогибу занимают вулканы и термопроявления. При этом разделим вулканы на две группы, которые имеют средневерхнеплейстоценовый (первая группа) и позднелайстоцен-голоценовый (вторая группа) возраст. На рис. 4 показано расположение вулканов этих двух групп на самом юге рассматриваемого

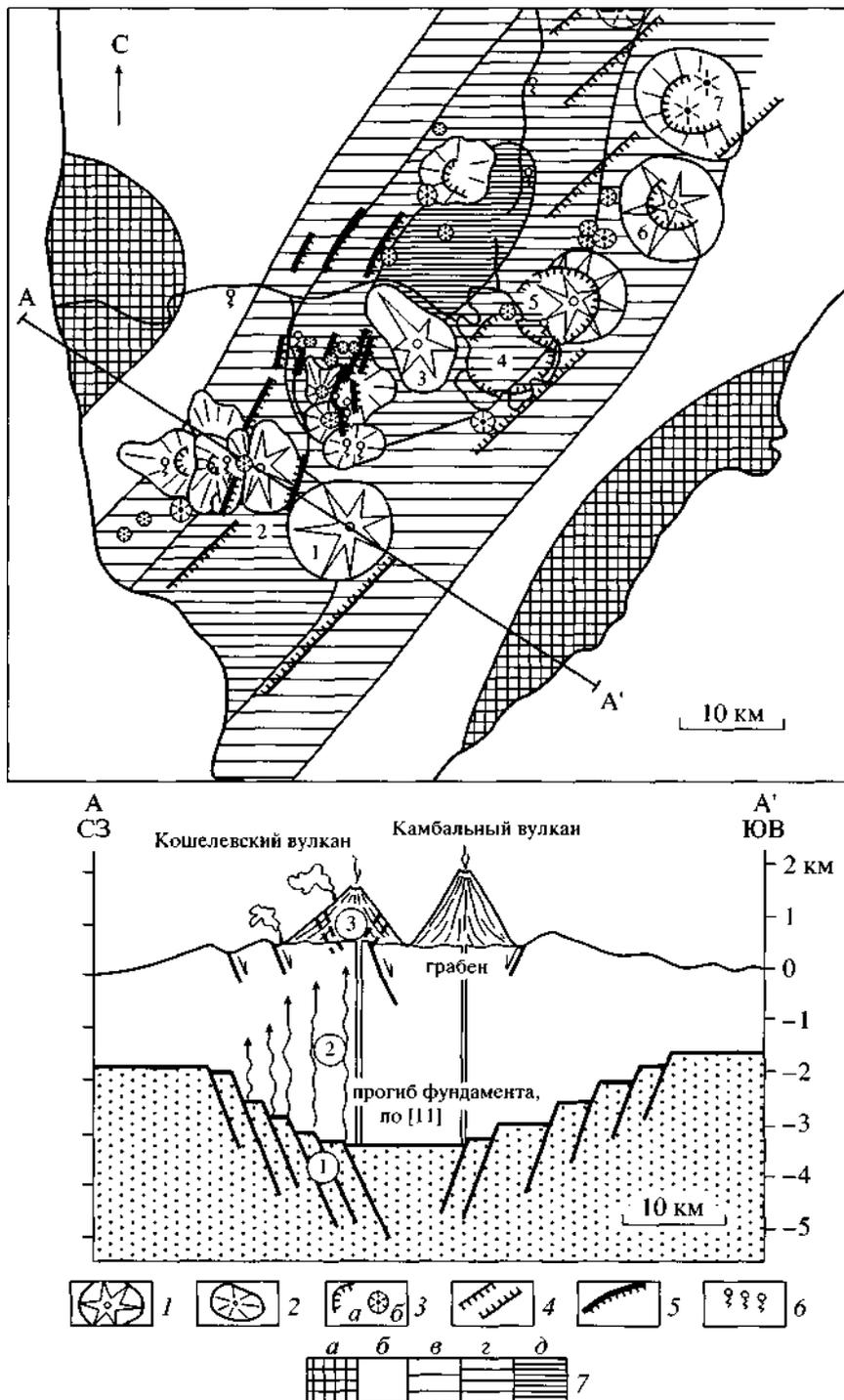


Рис. 4. Карта и разрез, показывающие расположение вулканов, высокотемпературных гидротермальных систем и позицию прогибов фундамента на крайнем юге Камчатки: / - позднеплейстоцен-голоценовые вулканы; 2 - средне-верхнеплейстоценовые вулканы; 3 - кальдеры (а), мелкие вулканы и шлаковые конусы (б); 4 - крупные разломы северо-восточного простирания; 5 - позднеплейстоцен-голоценовые трещины и сбросы; 6 - термопроявления; 7 - глубина поверхности мелового фундамента, км (по [11]): а - менее 2; б - 2-2.5; в - 2.5-3; г - 3-3.5; д - более 3.5. Цифрами обозначены вулканы и кальдеры: 1 - Камбальный, 2 - Кошелевский, 3 - Дикий Гребень, 4 - Курильская, 5 - Ильинский, 6 - Желтовский, 7 - Призрак. Цифры в кружочках - высокотемпературные гидротермальные системы (см. рис. 1 и табл.). А-А' - линия разреза. На разрезе зачернен фундамент (докайнозойский комплекс), цифрами в кружках отмечены зоны: 1 - зона разломов, ограничивающих прогиб и являющихся глубинными ловушками для магмы и гидротермальных флюидов, 2 - зона подъема магмы и гидротермальных флюидов к поверхности, 3 - зона развития позднеплейстоценовых трещин и сбросов на поверхности.

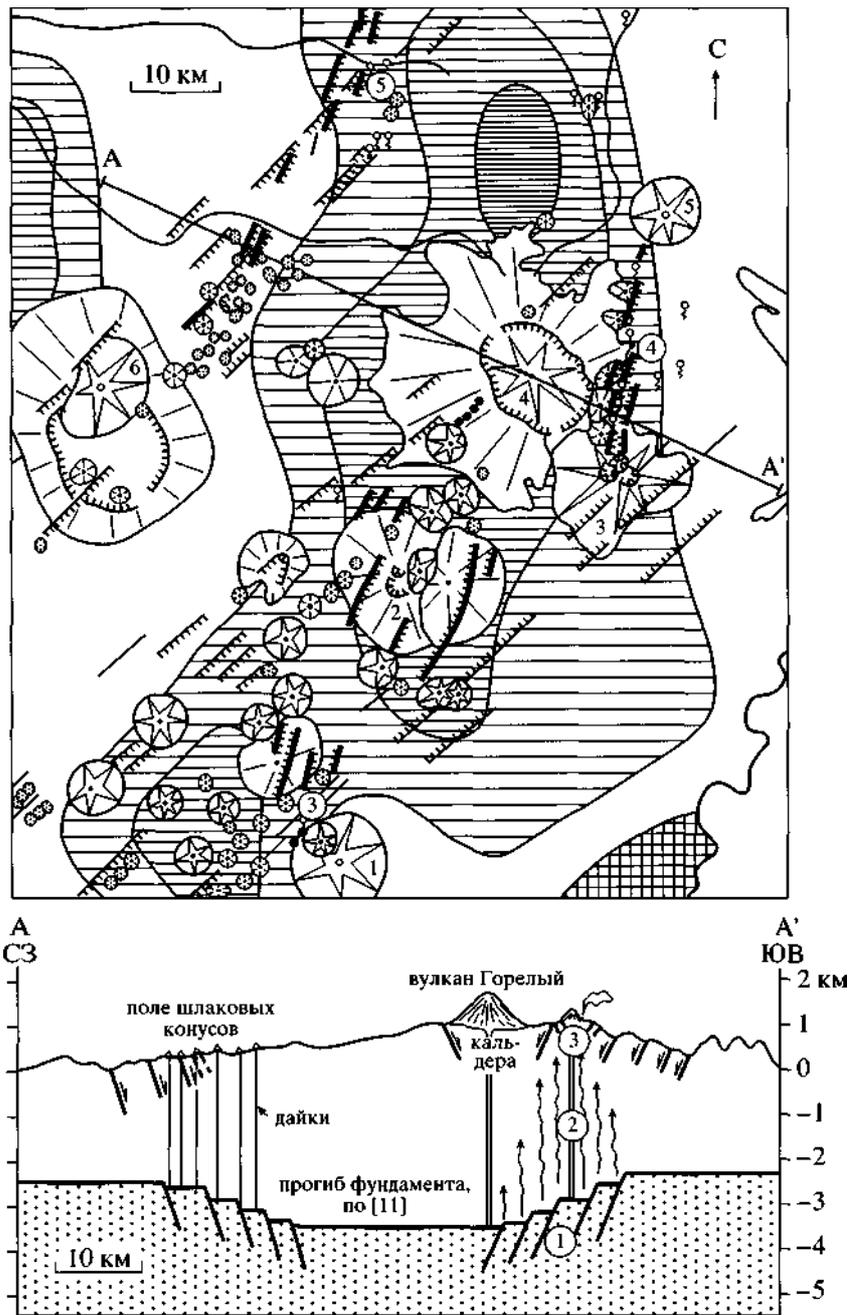


Рис. 5. Карта и разрез, показывающие расположение вулканов, высокотемпературных гидротермальных систем и позицию прогибов фундамента в северной части Южной Камчатки. Услов. обозн. см. рис. 4. Цифрами обозначены вулканы и кальдеры: 1 - Ходутка, 2 - Асача, 3 - Мутновский, 4 - Горелый, 5 - Вилочинский, 6 - Опала.

района. Все вулканы располагаются здесь в пределах прогиба, имеющего северо-восточное простирание. Вулканы первой группы смещены к северо-западу относительно оси прогиба, вулканы второй группы - к юго-востоку. Гидротермальная деятельность проявляется почти исключительно в зоне, где распространены вулканы первой группы (средне-верхнеплейстоценового возраста). В этой же зоне расположены две высокотемпературные

гидротермальные системы - Паужетская и Кошелевская. Многочисленные термопроявления, которые относятся к этим гидротермальным системам, приурочены к двум сложным вулканическим постройкам - Камбальному и Кошелевскому хребтам. Каждый из этих хребтов состоит из нескольких крупных и множества мелких вулканов и вулканических куполов, которые тесно сближены в пространстве и вытягиваются вдоль опреде-

ленных направлений: меридианального на Камбальном хребте и широтного на Кошелевском (рис. 4). Термопроявления приурочены как к вершинным частям хребтов, где развиты преимущественно паровые струи, так и к их подножию, где расположены разнообразные термальные источники. Наиболее крупные термопроявления на обоих описанных хребтах расположены около западного или северо-западного их подножия.

На рис. 4 показаны также две группы молодых разрывов: северо-восточного простирания (преимущественно средне-плейстоценового возраста) и северо-северо-восточного и меридианального простирания (преимущественно позднеплейстоцен-голоценового возраста). Обе эти группы разрывов были подробно описаны ранее [16]. Разрывы северо-восточного простирания ограничивают протяженный грабен, который на юге почти точно совпадает с прогибом, выявленным по данным геофизических исследований. На севере рассматриваемого участка разрывы северо-восточного участка не совпадают с прогибом и пересекают его границу под острым углом. Наиболее молодые разрывы, имеющие позднеплейстоцен-голоценовый возраст, образуют протяженный пояс, прослеживающийся через Кошелевский и Камбальный хребты и занимающий положение, близкое к позиции северо-западной границы прогиба.

На рис. 5 приведена схема еще одного участка, приуроченного к северной части рассматриваемого района. Здесь расположены три высокотемпературные гидротермальные системы: Ходуткинская, Мутновская и Больше-Банная (см. табл. 1). Позднечетвертичные вулканы также вытягиваются здесь двумя полосами северо-восточного простирания. В пределах этих полос в четвертичное время происходили просадки и образовались широкие грабены, ограниченные по краям разрывами северо-восточного простирания. Более крупный юго-восточный грабен на юге в целом совпадает с прогибом, выделенным геофизическими методами. На северо-востоке он пересекает границу прогиба, имеющую здесь меридианальное простирание. В этом месте, в узле пересечения границы прогиба и пересекающего ее грабена, сформировались многочисленные мелкие вулканы и экструзивные куполы, сложенные лавами дацитового и риолитового состава. Они образуют меридианальный ряд, протягивающийся на 20 км к северу от вулкана Мутновский [5, 28]. В пределах этой зоны широко развиты молодые (преимущественно позднеплейстоцен-голоценовые) разрывы северо-северо-восточного простирания. Сеть этих разрывов формирует широкую грабенообразную структуру, ось которой прослеживается от кратера Мутновского вулкана на юге до подножия Вилочинского вулкана на севере. Ширина

этой структуры - около 5 км, в длину она протягивается на 25 км. Осевая часть погружена относительно бортов на 40-50 м [15, 16]. Большая часть термопроявлений на рассматриваемом участке сосредоточена в основном в пределах этой меридианальной зоны, но часть термопроявлений вскрывается на удалении от нее, в речных долинах, расположенных на востоке и северо-востоке (рис. 5). Все эти термопроявления рассматриваются как части единой крупной высокотемпературной гидротермальной системы - Мутновской.

Ходуткинская и Больше-Банная гидротермальные системы также расположены на краях прогиба, выделенного по геофизическим данным (рис. 5). Обе они также связаны с разломами северо-восточного простирания, ограничивающими поверхностные грабены, и вблизи них также проявлены молодые разрывы северо-северо-восточного и меридианального простирания. Как видно, структурная позиция всех трех высокотемпературных гидротермальных систем на этом участке однотипна.

Восточная Камчатка. На Восточной Камчатке плейстоцен-четвертичный вулканический пояс также накладывается на крупный прогиб земной коры (рис. 2). Прогиб вытянут в северо-восточном направлении почти на 300 км, ширина его меняется от 30 до 50 км. По данным Ю.Ф. Мороза [22], кровля мелового фундамента в пределах этого прогиба погружена на 3-4 км, кровля кристаллического фундамента - на 6-7 км. Северо-западная граница прогиба отчетливо выражена в рельефе - это одновременно юго-восточная граница Восточного хребта Камчатки, в пределах которого породы докайнозойского основания выходят на поверхность. Юго-восточная граница прогиба в рельефе не проявлена. Ее перекрывают широко развитые на центральном участке Восточной Камчатки вулканогенные породы преимущественно позднечетвертичного возраста (рис. 6). В поле развития этих пород отчетливо проявлены лишь молодые, позднеплейстоцен-голоценовые разрывы. Так же как на Южной Камчатке, эти разрывы здесь имеют северо-северо-восточное простирание, образуют несколько групп, расположенных кулисообразно друг относительно к другу, и в целом вытягиваются полосой северо-восточного простирания, примерно совпадающей с юго-восточной границей прогиба. В этой же полосе расположены наиболее крупные вулканические центры, с которыми связаны комплексы кальдер и обширные поля пемз и игнимбритов (рис. 6). С тремя из этих центров - Карымским, Больше-Семячикским и Узон-Гейзерным - связаны высокотемпературные гидротермальные системы (Карымская, Семячикская, Гейзерная и Узон, см. табл.).

На рис. 7 показана схема расположения центров извержения, термопроявлений, а также границ

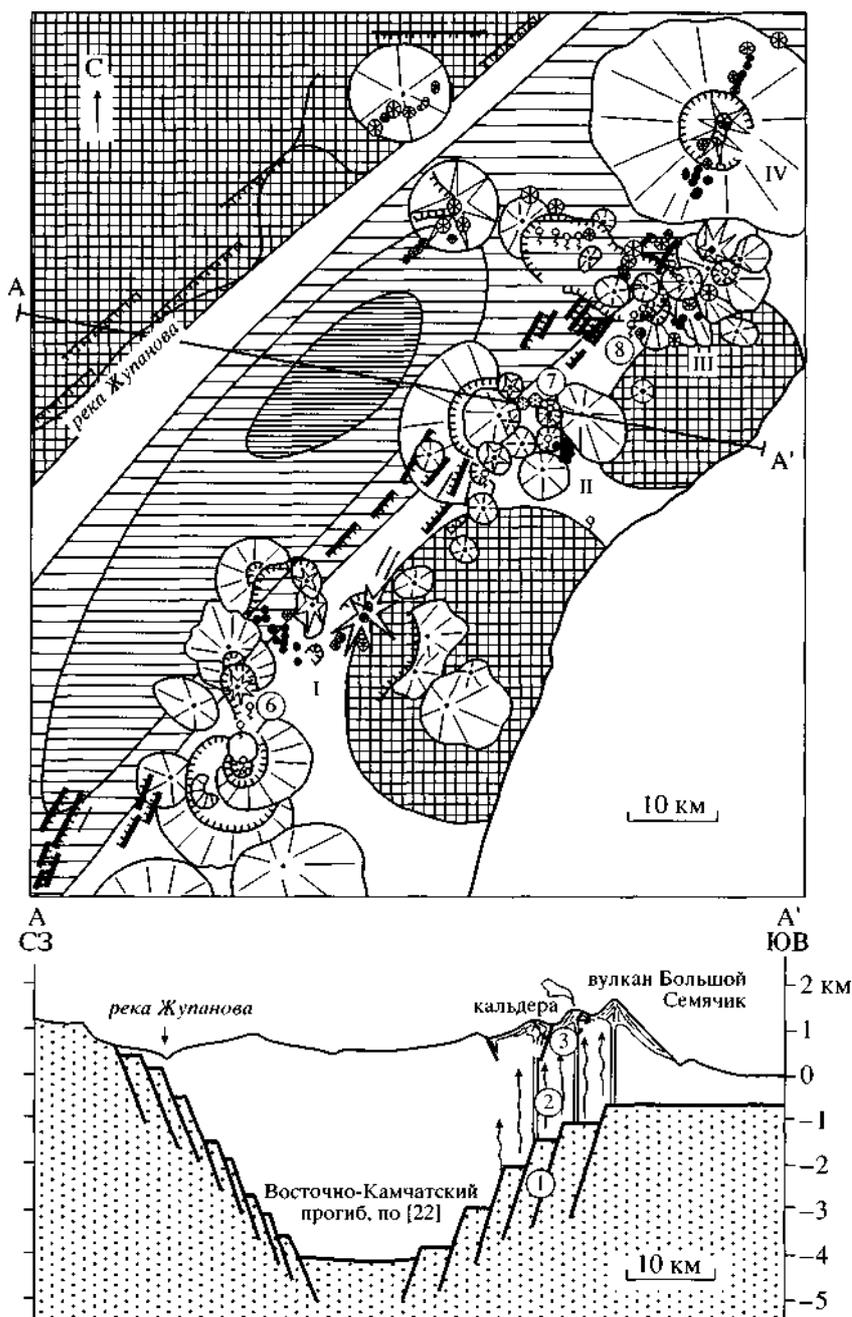


Рис. 6. Карта и разрез, показывающие расположение вулканов, высокотемпературных гидротермальных систем и позицию прогибов фундамента на Восточной Камчатке. Усло, обозн. см. рис. 4 (7 - глубина поверхности мелового фундамента, км (по [22]): а - менее 1; б - 1-2; в - 2-3; г - 3-4; д - более 4). Цифрами обозначены вулканические центры: I - Карымский; II - Больше-Семячкский; III - Узон-Гейзерный; IV - Крашенинникова.

вулканотектонических депрессии и кальдер в Узон-Гейзерном центре. Здесь выделяется две обособленных структуры, с которыми связаны многочисленные группы термопроявлений: сложно устроенный вулканический хребет, включающий в себя вулкан Кихпиныч и постройки Горного плато, и кальдера Узон. Термопроявления, связанные с ними, рассматриваются, соответственно, как Гейзерная и Узонская гидротермальные системы.

Геологическое строение этого участка изучено достаточно подробно [2, 6, 16, 19], и мы не будем на нем останавливаться. Отметим лишь особенности строения района вулкана Кихпиныч. Его слагают многочисленные мелкие вулканические постройки: вулканы, экструзивные куполы, шлаковые конусы, которые сформировались преимущественно в последние 30-40 тыс. лет. Все центры извержений (как и термопроявления) расположены в узкой

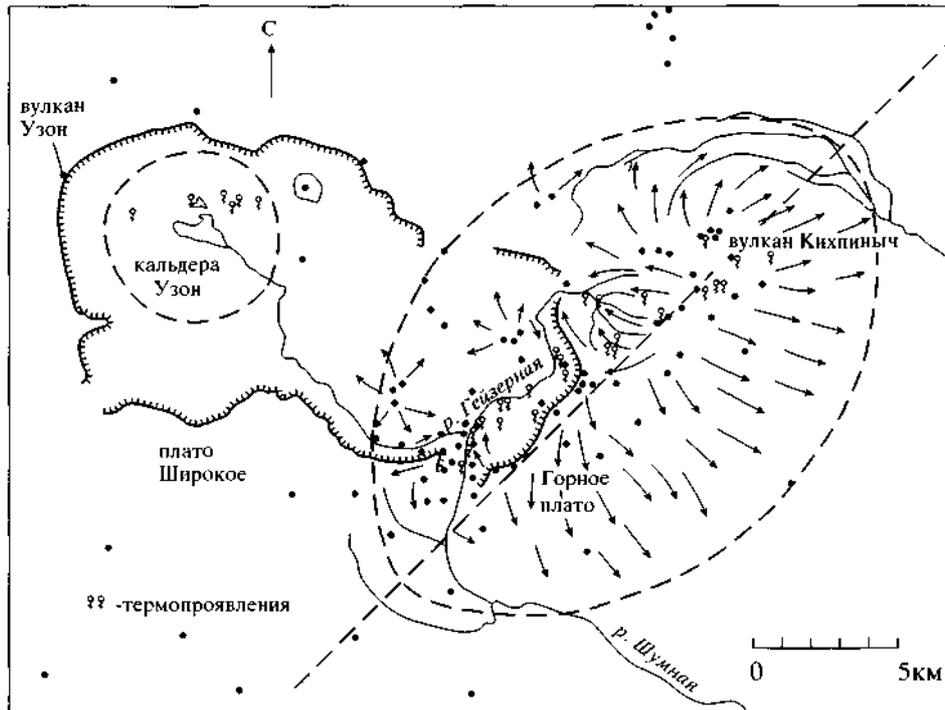


Рис. 7. Схема расположения центров вулканических извержений (точки) и направлений движения лавы (стрелки) в районе вулкана Кихпиныч и кальдеры Узон. Линии с бергштрихами - эрозионные границы Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии. Пунктирными линиями показаны границы Кихпинычского вулканического центра, кальдеры Узон и осевая линия глубинной зоны проницаемости земной коры северо-восточного простирания.

полосе северо-восточного простирания, что позволяет предполагать их связь с глубинной проницаемой зоной такого же направления. Это может быть один из разломов, ограничивающих с юго-востока описанный выше прогиб.

Детальные работы по изучению тектонической трещиноватости, проведенные южнее, в пределах Карымского вулканического центра, позволили также сделать заключение, что здесь большую роль играет разлом северо-восточного простирания, который активизируется на всех этапах развития центра и к которому приурочена устойчивая современная сейсмоактивная область [20].

На расположение термопроявлений в пределах гидротермальных систем здесь, так же как на Южной Камчатке, оказывают влияние крупные структуры, занимающие секущее положение по отношению к разломам, ограничивающим прогиб. В Карымском центре - это разлом меридионального простирания, в Больше-Семячикском центре - северо-западного простирания, в Узон-Гейзерном центре - субширотный разлом. Узлы пересечения этих разломов с глубинными проницаемыми зонами северо-восточного простирания и являются местами сосредоточения наиболее интенсивной вулканической и гидротермальной деятельности. Термопроявления известных гидро-

термальных систем, расположенных в этих узлах, вытянуты в большинстве случаев вдоль секущих разломов (рис. 6).

Срединная Камчатка. Центральнo-Камчатский (Срединный) вулканический пояс, так же как и Восточно-Камчатский, протягивается вдоль полуострова в северо-северо-восточном направлении и наложен на различные структуры фундамента. По данным Ю.Ф. Мороза [22], основными структурами, которые здесь выделяются, являются Камчатско-Корякский антиклинорий и Паланский прогиб (рис. 2). Последний распадается на две части - Южную и Северную, при этом вулканический пояс наложен на южную часть прогиба. Она имеет северо-восточное простирание, протягивается в длину на 200-250 км и имеет ширину от 70 до 100 км. Кровля мелового фундамента в пределах прогиба погружения на 2-3 км [22].

В Срединной Камчатке выделяется две высокотемпературных гидротермальных системы: Апельская и Киреунская. По мощности они значительно уступают гидротермальным системам Восточно-Камчатского вулканического пояса (см. табл.). Расположены они недалеко друг от друга, в центре района, в том месте, где вулканический пояс пересекает юго-восточную границу Паланского прогиба. На рис. 8 показано рас-

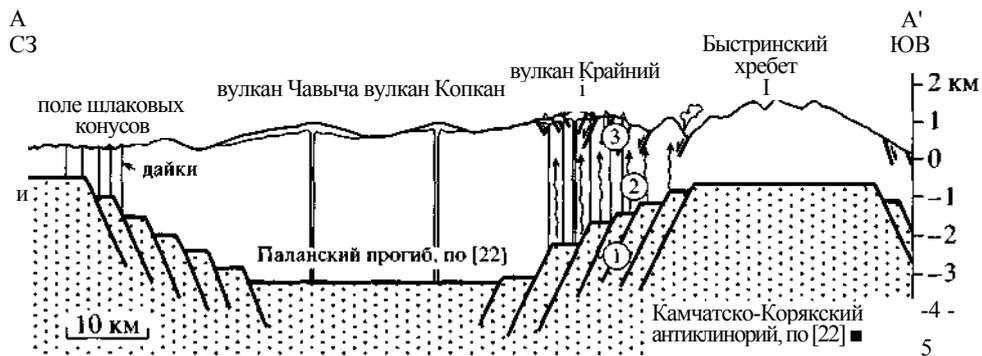
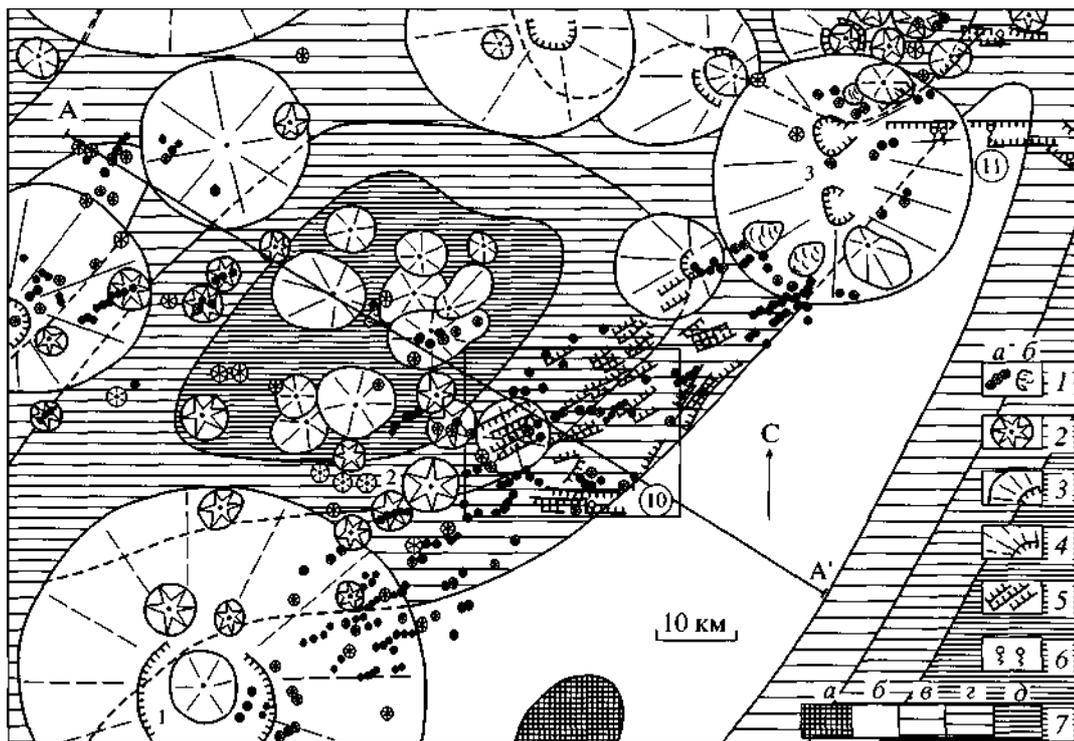


Рис. 8. Карта и разрез, показывающие расположение вулканов.

высокотемпературных гидротермальных систем и позицию прогибов фундамента в пределах Центрально-Камчатского (Срединного) вулканического пояса (см. рис. 1). 1 - позднеплейстоцен-голоценовые шлаковые конусы (а), риолитовые лавовые конусы и потоки (б); 2 - позднеплейстоценовые вулканы; 3 - средне-верхнеплейстоценовые вулканы и кальдеры; 4 - раннеплейстоценовые вулканы и кальдеры; 5 - крупные позднеплейстоцен-голоценовые сбросы; 6 - горячие источники; 7 - глубина поверхности мелового фундамента, км (по [22]): а - менее 1; б - 1-2; в - 2-3; г - 3-4; д - более 4. Цифрами обозначены вулканы и кальдеры: 1 - Уксичан, 2 - Анаун, 3 - Алней-Чашаконджа. Прямоугольником отмечен район, изображенный на рис. 9. Другие условн. обозн. см. рис. 4.

положение четвертичных вулканов и молодых разрывов на этом участке. Среди вулканов здесь выделяется две группы. С одной стороны, это крупные сложные вулканы, развивавшиеся в течение нижнего, среднего, а иногда и верхнего плейстоцена. С другой стороны - более мелкие постройки преимущественно позднеплейстоцен-голоценового возраста [23]. Наиболее крупные и дифференцированные вулканы первой группы приурочены к юго-восточной границе Паланско-го прогиба (вулканы: Уксичан, Анаун, Алней-

Чашаконджа). Вдоль этой же границы располагается протяженная зона новейших разрывов. Зона имеет ширину 20-25 км и общее северо-восточное простирание. Возраст разрывов преимущественно позднечетвертичный, вдоль некоторых из них расположены цепочки шлаковых конусов, имеющих позднеплейстоцен-голоценовый возраст. На рис. 9 показан один из участков этой зоны. Видно, что разрывы формируют здесь широкий грабен, у которого отчетливо выделяется узкая центральная зона.

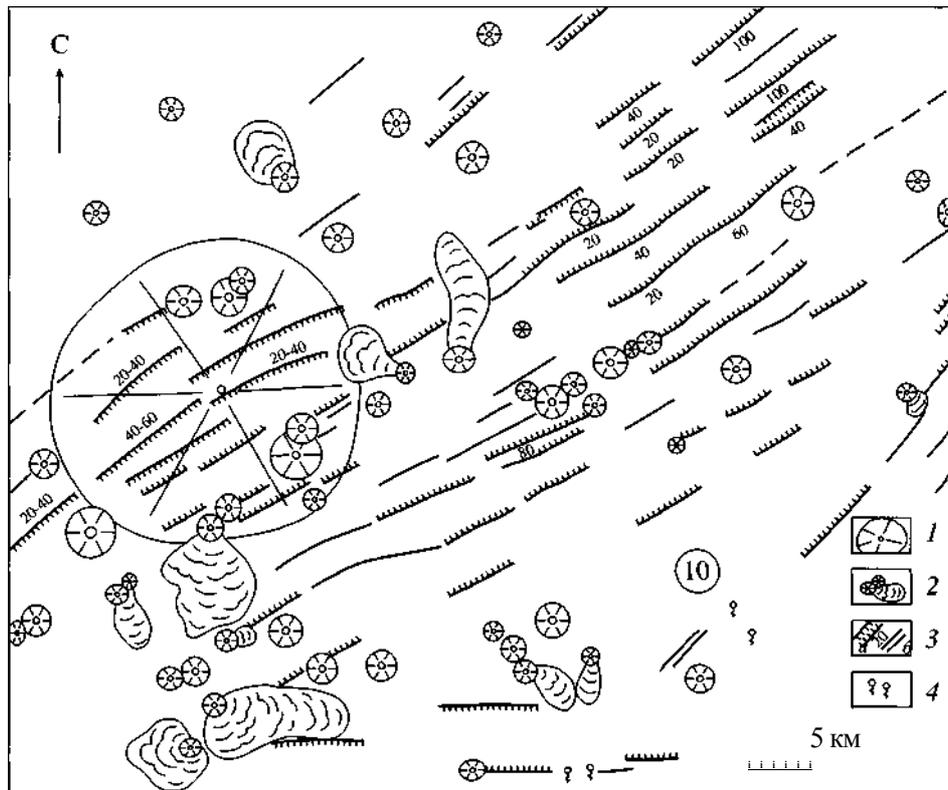


Рис. 9. Схема расположения сбросов и трещин растяжения между вулканами Анаун и Алней-Чашаконджа (см. рис. 8): 1 - крупные щитовые вулканы; 2 - мелкие вулканы, шлаковые конусы и их лавовые потоки; 3 - сбросы (a) и трещины растяжения (b); 4 - горячие источники. Цифра на поднятом крыле сброса показывает амплитуду вертикального перемещения, м.

Обе гидротермальные системы, расположенные здесь, связаны с описанной выше зоной разрывов северо-восточного простирания. Апапельская система приурочена к разрывам, ограничивающим эту зону с юго-востока, при этом распределение термопроявлений контролируется узлами пересечений северо-восточных и широтных разрывов. Последние формируют грабен, протягивающийся к востоку от вулкана Анаун (рис. 8, 9). Киреунская система расположена в этой же зоне в 60 км далее на северо-восток у подножия сложного вулканического массива Алней-Чашаконджа. Этот массив во многом напоминает долгоживущие вулканические центры Южной и Восточной Камчатки: его формирование происходило в основном в средне-верхнечетвертичное время, на нем развит многовыходной вулканизм, в позднем плейстоцене на его склонах произошло внедрение крупных экструзивных куполов дацитового и риолитового состава. Термопроявления, относящиеся к Киреунской гидротермальной системе, расположены к востоку от массива Алней-Чашаконджа, в грабенах, заложившихся вдоль крупных секущих разломов широтного и северо-западного простирания (рис. 8).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Общие закономерности структурной локализации высокотемпературных гидротермальных систем на Камчатке. Проведенный анализ показывает, что крупные прогибы фундамента и разломы, ограничивающие их, являются важными факторами, которые практически во всех случаях определяют позицию высокотемпературных гидротермальных систем на Камчатке. Располагаясь в пределах вулканических поясов, имеющих общее северо-северо-восточное простирание, высокотемпературные гидротермальные системы приурочены только к тем участкам, где эти пояса наложены на прогибы фундамента. Последние в большинстве случаев имеют северо-восточное простирание, и вулканические пояса пересекают их под острым углом. Гидротермальные системы располагаются группами и приурочены, в основном, к зонам разломов, ограничивающих прогибы с востока и юго-востока, а на крайнем юге полуострова - с северо-запада. В обобщенном виде структурные условия, которые приводят к формированию высокотемпературных гидротермальных систем на Камчатке, приведены на рис. 10.

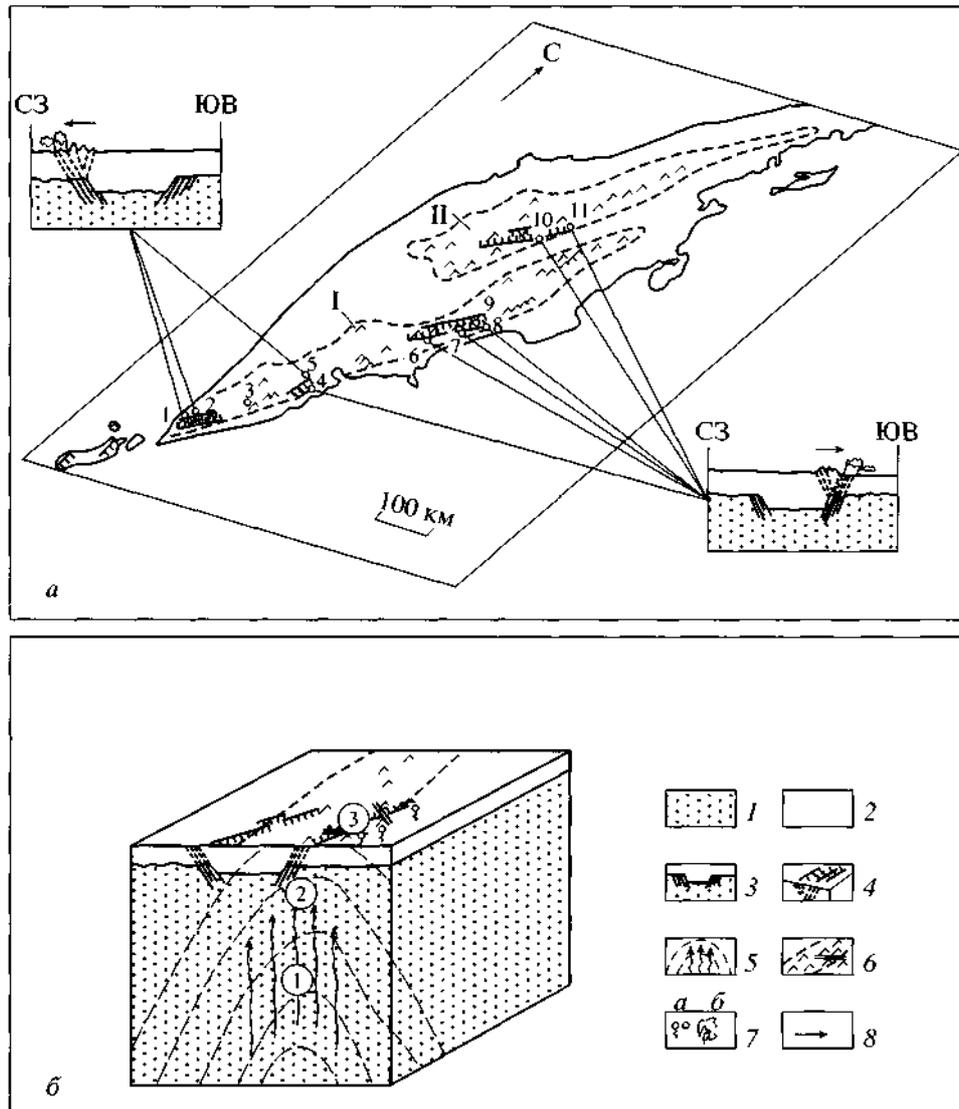


Рис. 10. Обобщенная схема расположения высокотемпературных гидротермальных систем на Камчатке (а) и упрощенная модель их глубинной структуры (б): 1 - докайнозойский фундамент; 2 - вулканогенно-осадочный чехол; 3 - прогибы фундамента; 4 - трещины, расположенные в вулканогенно-осадочном чехле (выше разломов, ограничивающих прогибы фундамента); 5 - упрощенное изображение изотерм и потоков магмы и гидротермальных флюидов в недрах вулканического пояса; 6 - вулканические пояса и секущие по отношению к ним разломы, контролирующие поверхностную разгрузку гидротермальных систем; 7 - высокотемпературные гидротермальные системы; а - на схемах, б — на разрезах (цифровые обозначения гидротермальных систем см. рис. 1 и табл.); 8 - направление горизонтального смещения термопроявлений относительно вулканических построек (на разрезах). Цифрами в кружках отмечены зоны: 1 - зона подъема магм и гидротермальных флюидов в недрах вулканических поясов; 2 - зона разломов, ограничивающих прогибы фундамента - глубинные ловушки для магм и гидротермальных флюидов; 3 - места пересечения продольных и поперечных разломов - зоны проникновения магм и гидротермальных флюидов к поверхности.

Глубокие разломы, ограничивающие прогибы фундамента, определяют, по-видимому, не только общую локализацию гидротермальных систем, но и некоторые закономерности распространения термопроявлений, относящихся к этим системам. Как было показано выше, большинство высокотемпературных гидротермальных систем Камчатки связано со сложными вулканическими постройками, сформировавшимися в средне-верхнечетвертичное время, и отличающимися многовыходным

вулканизмом и наличием экструзивных куполов дацитового и риолитового состава. Термопроявления вскрываются обычно как в пределах этих построек, так и у их подножия. При этом чаще всего такие постройки вытянуты в каком-либо направлении и по расположению центров, из которых происходили извержения, можно определить ослабленную зону (зону повышенной проницаемости), вдоль которой поднимаются к поверхности магма и гидротермальные флюиды. Обычно эти

зоны располагаются вдоль глубоких разломов, ограничивающих прогибы, но в некоторых случаях они трассируют и более мелкие разломы, которые занимают секущее положение по отношению к глубинным границам. На таких разломах расположены Кошелевский и Камбальный хребты на юге, ряды вулканов в Карымском, Больше-Семячикском и Узон-Гейзерном вулканических центрах на Восточной Камчатке. В таких случаях термопроявления располагаются вдоль секущих разломов и могут вскрываться на значительном удалении от вулканических построек. При этом проявляется отчетливая закономерность. На крайнем юге полуострова, где гидротермальные системы связаны с разломами, ограничивающими прогиб с северо-запада, термопроявления смещены относительно близлежащих вулканических построек к западу и северо-западу. На остальной территории, где гидротермальные системы располагаются на разломах, ограничивающих прогибы с востока и юго-востока, термопроявления смещены в восточном направлении. По-видимому, такая особенность распространения термопроявлений связана с наклоном разломов, ограничивающих прогибы. Гидротермальные растворы, поднимаясь по наклонным зонам разломов, смещаются в сторону их восстания (рис. 10).

Обобщая данные, приведенные выше, мы можем сделать заключение, что позицию высокотемпературных гидротермальных систем на Камчатке во всех случаях определяют узлы пересечения. Геотермальные районы (группы гидротермальных систем) расположены в узлах пересечения вулканических поясов и глубоких прогибов фундамента (при этом гидротермальные системы вытянуты цепочками вдоль зон разломов, ограничивающих прогибы). Позицию каждой конкретной гидротермальной системы определяют узлы пересечения разломов, ограничивающих прогибы, и более мелких разломов, занимающих секущее положение (при этом термопроявления, вскрывающиеся в пределах гидротермальных систем, обычно располагаются вдоль секущих разломов). Наклон разломов, ограничивающих прогибы, определяет направление латеральных смещений терм, которые могут вскрываться на значительном расстоянии в стороне от вулканических построек, с которыми они связаны.

В заключение хотелось бы обратить внимание, что описанные выше условия, в которых вскрываются высокотемпературные гидротермальные системы на Камчатке, не позволяют говорить об однозначной связи гидротермальных систем с кальдерами. Так, на Южной Камчатке выделяется семь кальдер, сформировавшихся в верхнем плейстоцене и в голоцене (Курильская, Ильинская, Желтовская, Призрак, Ксудач, Горелая и Опала), и ни с одной из них не связано крупных гидротермаль-

ных систем. Небольшие термопроявления есть лишь в кальдерах Ксудач и Ильинская. На Восточной Камчатке расположено 10 средне-верхнеплейстоценовых и голоценовых кальдер. Гидротермальные системы связаны лишь с кальдерами Академии Наук, Карымской и с Узон-Гейзерной депрессией. В Больше-Семячикском центре термопроявления расположены рядом с кальдерой, за ее границами. Внутри этой кальдеры, так же, как в кальдерах Стены, Соболиного, Крашенинникова, термопроявления отсутствуют. В Срединной Камчатке расположено 9 кальдер, которые связаны, в основном, с базальтовыми вулканами [23]. Гидротермальные системы в них также отсутствуют.

Требует уточнений и другой часто употребляемый тезис - что гидротермальная деятельность связана с близповерхностными кислыми магматическими очагами. Уже из вышеприведенных примеров видно, что формирование кальдер, которые, по-видимому, всегда связаны с близповерхностными очагами, далеко не всегда сопровождается формированием крупных гидротермальных систем. Другой наглядный пример - вулкан Дикий Гребень, расположенный на Южной Камчатке. Это самый крупный вулкан, сложенный кислыми вулканиками в Курило-Камчатской островной дуге. Возраст вулкана позднеголоценовый, и есть основания считать, что в его недрах на небольшой глубине расположен кислый магматический очаг [4]. В то же время термопроявлений ни на этом вулкане, ни вблизи него нет.

Приведенные в настоящей работе данные позволяют предполагать, что лишь существующие длительное время зоны проницаемости земной коры, которые возникают в узлах пересечения глубинных и поверхностных разломных зон, могут создавать условия для формирования мощных гидротермальных систем. В таких зонах могут формироваться крупные, сложно построенные вулканы, могут возникать кальдеры, но они могут и отсутствовать (пример - Апапельская гидротермальная система). Главное - наличие устойчивой, длительно развивающейся и проникающей на большую глубину проницаемой зоны. По-видимому, разломы, ограничивающие прогибы фундамента, описанные в настоящей работе, относятся именно к таким структурам.

Идея данной работы родилась в ходе проведения первого Российско-Японского полевого семинара, прошедшего летом 1998 года в г. Петропавловске-Камчатском. Автор благодарен своим коллегам: В.И. Белоусову, Е.Н. Гриб, И.Ф. Делемению, А.В. Кирюхину, О.Н. Егорову, С.Н. Рычагову за интерес, проявленный к работе, помощь и полезные дискуссии. Он также признателен Ю.Ф. Морозу, который прочитал рукопись и сделал к ней ряд полезных замечаний, а также Л.В. Ким,

В.К. Костаревой, А.Д. Чернявской и Т.А. Тарасовой, помогавшим при окончательной работе над текстом и рисунками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аверьев В.В., Богоявленская Г.Е., Брайцева О.А., Вакин Е.А., Пилипенко Г.Ф.* Вулканизм и гидротермы Узон-Семячикского геотермального района на Камчатке // Вулканизм и глубины Земли. М.: Наука, 1971. С. 207–211.
2. *Белоусов В.И.* Геология геотермальных полей в областях современного вулканизма. М.: Наука, 1978. 176 с.
3. *Белоусов В.И., Гриб Е.Н., Леонов В.Л.* Геологические позиции гидротермальных систем Долины Гейзеров и кальдеры Узон // Вулканология и сейсмология. 1983. № 1. С. 65–79.
4. *Биндеман И.Н.* Петрология вулкана Дикий Гребень (Южная Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1992. № 4. С. 33–55.
5. *Вакин Е.А., Кирсанов И.Т., Кирсанова Т.П.* Термальные поля и горячие источники Мутновского вулканического района // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 85–114.
6. Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. М.: Недра, 1974. 264 с.
7. Геотермические и геохимические исследования высокотемпературных гидротерм (на примере Мутновского геотермального месторождения) / Под ред. Сугрובה В.М. М.: Наука, 1986. 208 с.
8. Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки / Под ред. Сугрובה В.М. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. 284 с.
9. *Гриб Е.Н., Леонов В.Л., Флоренский И.В., Храмов Н.А.* Геологические условия термопроявлений бассейна р. Жировой (Юго-Восточная Камчатка) // Бюл. вулканол. станций. М.: Наука, 1976. № 52. С. 85–92.
10. *Егоров О.Н.* Центры эндогенной активности (вулканические системы). М.: Наука, 1984. 166 с.
11. *Зубин М.И.* Геофизические поля и глубинное строение по геофизическим данным // Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. М.: Наука, 1980. С. 10–19.
12. *Кирюхин А.В., Делемень И.Ф., Гусев Д.Н.* Высокотемпературные гидротермальные резервуары. М.: Наука, 1991. 161 с.
13. Комплексные геофизические исследования геологического строения месторождений термальных вод Камчатки / Под ред. Сугрובה В.М. М.: Наука, 1985. 112 с.
14. *Леонов В.Л.* Разрывные нарушения Паужетской вулканотектонической структуры // Вулканология и сейсмология. 1981. № 1. С. 24–36.
15. *Леонов В.Л.* Методика и результаты крупномасштабного геокартирования // Геотермические и геохимические исследования высокотемпературных гидротерм. М.: Наука, 1986. С. 41–62.
16. *Леонов В.Л.* Структурные условия локализации высокотемпературных гидротерм. М.: Наука, 1989. 104 с.
17. *Леонов В.Л.* О некоторых закономерностях развития гидротермальной и вулканической деятельности на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1991. № 2. С. 28–40.
18. *Леонов В.Л.* Региональные структурные позиции геотермальных районов и гидротермальных систем на Камчатке // Минерало-рудообразование в вулcano-гидротермальных системах островных дуг (Камчатка–Курильские острова–Японские острова). Петропавловск-Камчатский: ИВ ДВО РАН, 1998. С. 24–26.
19. *Леонов В.Л., Гриб Е.Н., Карнов Г.А. и др.* Кальдера Узон и Долина Гейзеров // Действующие вулканы Камчатки: Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 94–141.
20. *Леонов В.Л., Иванов В.В.* Землетрясения Карымского вулканического центра и их связь с тектоникой // Вулканология и сейсмология. 1994. № 2. С. 24–40.
21. *Масуренков Ю.П., Комкова Л.А.* Геодинамика и рудообразование в купольно-кольцевой структуре. М.: Наука, 1978. 288 с.
22. *Мороз Ю.Ф.* Строение осадочно-вулканогенного чехла Камчатки по геофизическим данным // Тихоокеанская геология. 1991. № 1. С. 59–67.
23. *Огородов Н.В., Кожемяка Н.Н., Вадеевская А.А., Огородова А.С.* Вулканы и четвертичный вулканизм Срединного хребта Камчатки. М.: Наука, 1972. 192 с.
24. Паужетские горячие воды на Камчатке / Под ред. Пийпа Б.И. М.: Наука, 1965. 208 с.
25. *Пийп Б.И.* Термальные ключи Камчатки. М.: Издво АН СССР. 1937. 268 с.
26. Структура гидротермальной системы // Отв. ред. Белоусов В.И., Ломоносов И.С. М.: Наука, 1993. 298 с.
27. *Сугрובה В.М., Яновский Ф.А.* Геотермическое поле Камчатки, вынос тепла вулканами и гидротермами // Действующие вулканы Камчатки. Т. 1. М.: Наука, 1991. С. 58–66.
28. *Kirsanov I.T.* Acid volcanism and thermal manifestation on the area of Mutnovsky and Gorely volcanoes (Southern Kamchatka) // Bull. Volcanol. 1967. V. 30. P. 139–153.
29. *Sugrobov V.M.* Geothermal Resources of Kamchatka, Russia // Terrestrial Heat Flow and Geothermal Energy in Asia / Ed. Gurta M.L., Yamano M. New Delhi: Oxford & JBN Publishing Co. Pvt. 1995. P. 469–492.
30. *Vakin E.A., Polak B.G., Sygrobov V.M., Erlikh E.N., Belousov V.I., Pilipenko G.F.* Recent hydrothermal systems of Kamchatka // Geothermics. 1970. V. 2. P. 1116–1133.

Regional Structural Settings of High-temperature Hydrothermal Systems in Kamchatka

V. L. Leonov

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

Structural settings of high-temperature hydrothermal systems in Kamchatka are examined to show that these lie within Pleistocene-Quaternary volcanic belts and are confined to areas where the belts are superimposed on deep basement depressions. The main structural features which control the settings of high-temperature hydrothermal systems are faults which bound the depressions. The faults are rarely seen at the ground surface, being usually overlain by thick sedimentary-volcanogenic deposits; however, the deposits contain evolving systems of young (mostly Late Pliocene to Holocene) fractures extending along the faults hidden deeper down. The hydrothermal systems are situated in locations where these sets of surficial fractures traverse faults or grabens lying transversely or obliquely. These intersections usually favor the generation of stable, long-lived permeable crustal zones where magma and hydrothermal fluids are constantly rising, while complex volcanic structures are forming on the ground surface exhibiting multivert volcanism and the presence of dacite and rhyolite extrusive domes. Thermal manifestations are usually situated within structures such as these and/or near them. It is shown that lateral displacements of hydrotherms relative to these structures are related to dips of the faults that bound the basement depressions. The displacements are usually connected with up of the fault planes.