*Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова. 1989. Т. 119*

УДК 551.49+550.21

# ГИДРОГЕОЛОГИЯ ВУЛКАНОГЕННЫХ БАССЕЙНОВ ЗЕМЛИ

*В. А. КИРЮХИН, Н. И. ТОЛСТИХИН*

Вулканогенные структуры занимают особое место в строении нашей планеты. В процессе ее эволюции непрерывно происходила дифференциация вещества мантии, ее расплавление и поднятие на поверхность Земли, поэтому практически в каждом регионе распространены вулканогенные породы того или иного возраста. Однако наше внимание будет сосредоточено на вулканогенных структурах мезокайнозойского возраста.

Как показано в нашей работе [3], вулканогенные структуры заслуживают выделения в самостоятельный тип гидрогеологических структур первого порядка также, как гидрогеологические массивы (ГМ) и артезианские бассейны (АБ). К вулканогенным бассейнам (ВБ) относятся структуры, сложенные вулканогенными породами (лавами, туфами, вулканобрекчиями и др.) и содержащие одновременно пластовые, лавовые и трещинно-жильные воды, характеризующиеся многоэтажностью распределения по разрезу и неравномерностью распространения по площади.

К ВБ могут быть отнесены не все вулканогенные структуры, поскольку, как было обосновано в [3], в процессе своего старения в результате процессов метагенеза и метаморфизма они теряют свои специфические свойства и превращаются в ГМ. Эффузивные образования мелового и более молодого возраста обычно еще участвуют в образовании ВБ, а юрского и более древнего возраста — уже слагают ГМ.

Как отмечал Д. В. Наливкин: «Быстрые, внезапные, резкие, очень сильные, катастрофические процессы, которые можно назвать революционными, имеют в истории Земли выдающееся значение» [6, с. 3]. Эта мысль ученого касается катастрофических движений воздуха, но в полной мере может быть отнесена и к вулканизму. Если рассматривать эти катастрофические процессы в глобальном плане, то можно заметить, что отдельные катастрофические извержения приводили к запылению атмосферы, затенению Земли и длительному снижению температуры воздуха. Отмечено, что за циклами интенсивного вулканизма в четвертичный период следовали этапы оледенения нашей планеты.

Облик районов, где происходит извержение вулканов, может измениться за считанные часы (сутки). Само по себе это явление вызывает у очевидцев этого зрелища смешанные чувства: удивление, восторг, страх, ужас, представление о неведомой силе, двигающей горы и раскаленную лаву.

Вулканологи говорят, что вулканические извержения как бы зажигают лампочку на разных этажах земных недр, освещая тем самым условия маг-

мообразования и выхода лавы на поверхность. Для гидрогеологов проявление вулканизма — это своеобразное гидрогеологическое окно, через которое можно заглянуть в глубь Земли, смоделировать, оценить и спрогнозировать процессы тепло- и массопереноса, обусловленные вулканической деятельностью. Следует отметить, что под ее влиянием в молодых вулканических системах формируются разнообразные месторождения подземных вод — пресных, минеральных и термальных, являющихся важными объектами гидрогеологических исследований, часто сложных и дорогостоящих.

Несмотря на такой небольшой возрастной диапазон (мел — кайнозой) рассматриваемых вулканогенных структур, можно наблюдать их большое разнообразие, обусловленное различиями геологических условий и геоморфологических форм, интенсивности проявления тектономагматической деятельности, экзогенных процессов и катагенеза, характером взаимосвязи подземных вод с речными и морскими. Все это создает в пределах вулканогенных бассейнов сложную гидрогеологическую обстановку, изучение которой требует всесторонних знаний, нестандартных геологических решений, комплексных исследований.

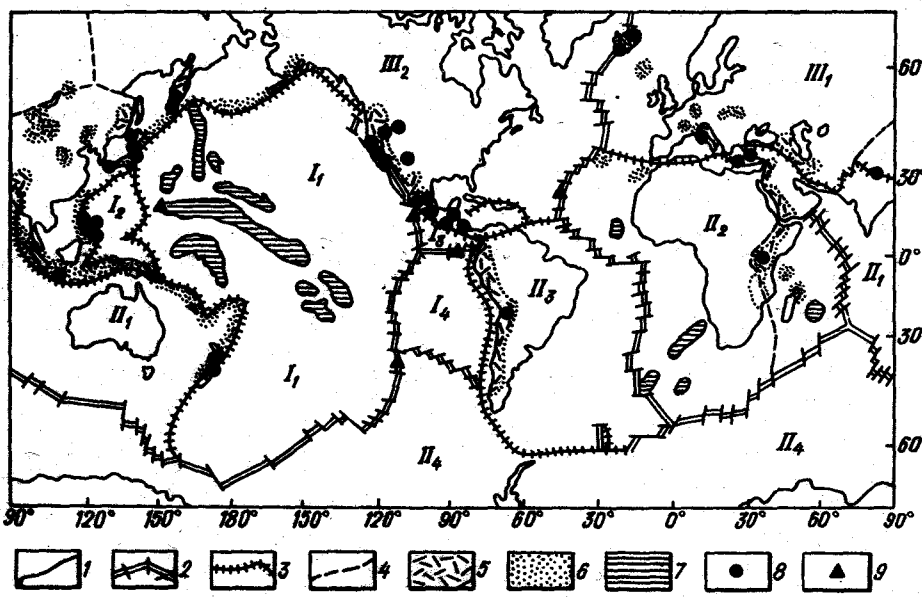
Геологические исследования вулканогенов ведутся давно и в различных направлениях, начиная от их генезиса до особенностей петрологии пород, образовавшихся при извержении в каком-либо районе. Важно отметить, что обобщение материалов носит не только региональный, но и глобальный характер. Составлены сводки-обобщения по вулканогении в планетарном масштабе [7]. Обобщения материалов выполнены В. А. Апродовым (1965, 1982), И. В. Лучицким (1971), В. И. Владовцом (1973), А. Е. Святловским (1975), И. И. Гущенко (1979). Теоретические проблемы вулканической деятельности рассмотрены в работах М. Крафта (1974), Г. А. Макдональда (1975), Е. К. Мархинина (1967), А. А. Маракушева (1985, 1987), Е. Е. Милановского и В. Н. Короновского (1973), К. Н. Паффенгольца (1977), С. П. Соловьева (1970), Г. Тазиева (1969) и многих других ученых.

Гидрогеологические особенности вулканогенов изучены слабее, хотя и здесь работы ведут в нескольких направлениях. Так, в частности, структурно-гидрогеологический анализ вулканогенов и их гидрогеологическая стратификация рассматривались И. К. Зайцевым и Н. И. Толстихиным (1964), А. А. Тер-Мартиросяном (1968), М. В. Голубовским (1972), В. А. Кирюхиным и Н. И. Толстихиным (1987) и др. Особенностям режима лавовых вод и формированию их запасов посвящены работы А. Б. Разживина (1965), А. А. Тер-Мартиросяна (1968), Д. Л. Горейко (1971), М. В. Голубовского (1972) и Я. В. Неизвестнова (1972), В. О. Саркисяна (1981) и др. Широкое развитие в современных и молодых вулканических областях получили минеральные воды. Выявлением закономерностей их распространения и формирования занимались многие гидрогеологи: Н. М. Богатков (1960), О. Н. Толстихин (1962), Л. Н. Барабанов (1963), В. В. Иванов (1964), А. М. Овчинников (1964), С. С. Сидоров (1964), Д. Е. Уайт (1964), И. К. Зайцев и Н. И. Толстихин (1972), Е. А. Басков и С. Н. Суриков (1975), В. И. Кононов (1983) и др. Большое внимание особенно в последние годы уделяется изучению и освоению гидрогеотермальных систем. Среди наиболее активных исследователей этой проблемы следует отметить Г. С. Бодварсона (1961, 1974), В. В. Аверьева (1966), И. Г. Дональдсона (1968), В. М. Сугробова (1970, 1976), Я. Б. Смирнова (1974), Б. Арансона (1974), Ю. Ф. Манухина (1976), В. Д. Пампуру (1981), А. В. Кирюхина (1987).

Одной из важнейших характеристик ВБ является их структурно-геологическое положение, определяющее многие особенности рассматриваемых структур и, в частности, условия залегания подземных вод, гидрогеодинамические и гидрогеохимические особенности ВБ. Однако в гидрогеологической литературе этому вопросу ранее не уделялось должного внимания. Восполняя этот пробел, авторы хотели бы отразить и свое отношение к затронутому вопросу. На наш взгляд, ВБ Земли следует разделить на три большие группы (см. рисунок): 1) ВБ континентов; 2) ВБ областей перехода «суша — океан»; 3) ВБ океанов.

Вулканогенные бассейны континентов отличаются большим разнообразием ландшафтно-климатических обстановок и условий залегания вулканогенов, сложными взаимоотношениями вулканогенных структур с АБ и ГМ, большим диапазоном возраста вулканогенов (мел — кайнозой), значительными изменениями литолого-фациального состава вулканогенных пород и их водопроницаемости, наличием зоны аэрации.

Вулканогенные бассейны областей перехода «суша — океан» приурочены к вулканическим постройкам островных дуг, расположенным между океаном и окраинным морем. Они закладывались как на континентальной, так и на океанской коре. К их особенностям относятся активная газогидротермальная деятельность, тесная связь подземных вод ВБ и вод морей и океанов, преобладание эффузивов неоген-четвертичного возраста основного и среднего состава.




Распространение вулканогенных бассейнов

*Главные тектонические подразделения Тихоокеанского сектора* ($I_1$ — *Тихоокеанская плита;* $I_2$ — *Филиппинская плита;* $I_3$ — *плита Кокос;* $I_4$ — *плита Наска*); *Гондванского сектора* ($II_1$ — *Австрало-Индийская плита;* $II_2$ — *Африканская плита;* $II_3$ — *Южно-Американская плита;* $II_4$ — *Антарктическая плита*); *Лавразийского сектора* ($III_1$ — *Евразийская плита;* $III_2$ — Северо-Американская плита)

1 — границы континентов; 2 — срединно-океанические хребты; 3 — внешние границы плит; 4 — рифты суши и внутренние границы плит; 5—7 — вулканогенные бассейны (5 — суши континентов; 6 — островных дуг и шельфов; 7 — океанские); 8 — высокотемпературные месторождения подземных вод; 9 — термогидропроявления на дне океана

Вулканогенные бассейны океанов — наиболее широко распространенный тип вулканогенных структур, занимающих огромные территории океанского дна. Для них характерны сравнительно однородный состав эффузивов (базальты), постоянное взаимодействие океанских вод и подземных вод ВБ.

Перед тем как перейти к характеристике выделенных групп, следует отметить особую роль ВБ, сложенных эффузивами неоген-четвертичного возраста. Молодые ВБ отличаются от донеогеновых большей обводненностью, газогидротермальной активностью, разнообразием химического состава вод.

*Вулканогенные бассейны континентов.* По условиям образования и своему расположению различаются ВБ областей альпийской складчатости, ВБ областей палеозойской складчатости, обновленных в кайнозое процессами тектономагматической активизации, и ВБ областей рифтогенеза.

Вулканогенные бассейны альпийской складчатости связаны с вулканогенами Тихоокеанского и Средиземноморского геосинклинальных поясов. В первом из них вулканогены располагаются на окраинах континентов, образуя окраинно-континентальные пояса (Андский, Кордильерский, Камчатский, Сихотэ-Алинский и др.), а во втором — преимущественно в глубине континентов, формируя так называемые трансконтинентальные пояса (Индокитайско-Малоазиатский, Кавказский, Карпатский, Аппенинский и др.). Для указанных ВБ характерны участие в сложении среднегорных, а иногда высокогорных хребтов, сочетание ареального и линейного проявлений вулканизма, активная газогидротермальная деятельность.

Как в окраинно-континентальных, так и в трансконтинентальных ВБ формируются мощные потоки пресных вод, стекающих по склонам горных сооружений к их подножьям и в речные долины. Гидрогеологическая разведка этих районов показала хорошую обводненность пород и значительные запасы подземных вод (Арагацкий, Совгаванский и другие ВБ). Следует особо отметить, наряду с проявлением вод фумарольного и сольфатарного типов, большое разнообразие состава углекислых минеральных вод, установленное в районах молодого вулканизма (Камчатка, Кавказ, Карпаты и др.), а также широкое распространение в этих ВБ азотно-углекислых и азотных гидротерм.

Вулканогенные бассейны областей тектономагматической активизации возникли при дифференциации и подвижках небольших литосферных блоков. При этом новейший вулканизм проявлялся автономно на фоне мелопалеогенового. Вулканические цепи (Западно-Европейская, Северо-Африканская, Саянская, Хантайско-Хинганская и др.) разорваны на отдельные звенья. Для запада Европы характерно развитие щелочных базальтов, трахитов, фонолитов, ассоциированных с кислыми лавами. Базальты преобладают и в других районах, но их состав более однороден. В структурном плане ВБ представляют собой грабены, горсты, вулканические щиты, реже лавовые конусы. Вулканическая деятельность в голоцене в пределах рассматриваемых вулканических областей проявилась весьма слабо. К особенностям ВБ областей тектономагматической активизации следует отнести сравнительно небольшие размеры большинства из них (сотни квадратных километров) и относительно малую мощность вулканитов (сотни метров), сдренированность (отсутствие заметной обводненности) выше местного базиса эрозии, проявление

углекислых и термальных вод преимущественно в зонах тектонических нарушений.

Вулканогенные бассейны областей рифтогенеза представляют собой линейно вытянутые структуры, которые занимают на континентах сравнительно небольшие территории. Рифтовые зоны, заложенные, по крайней мере, в олигоцене, а часто и ранее, развиваются в сложных и гетерогенных структурных условиях, которые определяются весьма интенсивными тектоническими движениями и вулканическими процессами. С этих позиций рассматриваемые ВБ могут быть разделены на две категории — ВБ рифтовых зон окраин континентов и ВБ рифтовых зон внутренних областей континентов.

К первой группе относятся ВБ областей Восточно-Африканского, Калифорнийского, Центрально-Американского и других рифтов. Для всех характерны многостадийное проявление вулканизма, изменение состава лав преимущественно в пределах основных и средних разностей, сочетание различных структурно-морфологических форм — конусов, плато, щитов, грабенов, нередко сопровождавшихся образованием серии крупных подпруженных озер, как например, в Восточной Африке. Вулканогенные структуры, образующие положительные формы рельефа, сильно расчленены и приподняты над окружающей местностью на 1—1,5 км и более. Излияние эффузивов в современную эпоху привело к образованию многочисленных гидротермальных систем, а их взаимодействие с осадочными породами различного состава (галогенными, карбонатными и др.) способствовало формированию разнообразных типов минеральных вод. Так, например, в пределах Восточно-Африканского рифтового пояса формируются весьма редкие по своему составу воды: рассольные содовые озера, субмаринные металлоносные рассолы впадин Красного моря, хлоркальциевые рассолы Мертвого моря, ультращелочные воды сульфатно-гидроксидного кальциевого состава. Кроме того, широкое распространение в этом поясе получили углекислые и сероводородно-углекислые воды различной минерализации (от 0,2 до 480 г/кг) и состава (хлоридные, гидрокарбонатные, сульфатные и др.). Весьма богат микрокомпонентный состав термальных соленых вод и рассолов Калифорнийского рифта. Наряду с высокими содержаниями различных металлов (литий, рубидий, цинк, свинец, барий и др.) в этих гидротермах обнаружены в больших количествах бор, йод, кремнезем и другие компоненты. В ВБ рассматриваемого типа также широко распространены пресные воды, но запасы этих вод, как правило, невелики.

Вулканогенные бассейны рифтовых зон внутренних областей континентов находятся в пределах Байкальского рифтового пояса, системы Рейнских грабенов и др. В этих областях наблюдаются разрозненные проявления молодого вулканизма, образующего отдельные плато и купола. Мощность эффузивных тел, обычно сложенных базальтами, не превышает нескольких сотен метров. В отдельных случаях вулканические породы выполняют ложе грабенов, где перекрываются рыхлыми песчано-глинистыми отложениями, тем самым образуя вулканоартезианские структуры (Тункинский бассейн). В кратерах взрыва обычно образуются озера. Наибольшей обводненностью отличаются шлаковые разности, в которых формируются месторождения пресных вод. Их состав преимущественно гидрокарбонатный кальцевый. На ряде участков наблюдаются проявления углекислых вод — холодных и теплых.

*Вулканогенные бассейны областей перехода «суша — океан».* На границах активного контакта континентальных и океанских блоков проявля-

ется мощный андезитовый вулканизм, сопровождающийся образованием островных дуг. Для пассивных краев континентов характерны проявления щелочного базальтового вулканизма. На границах расходящихся литосферных плит возникают вулканические пояса, в которых среди эффузивов преобладают толеитовые базальты. На границе сходящихся плит вулканические пояса слагались преимущественно вулканитами андезитового глиноземистого состава.

Основанием ВБ служит базальтовый слой океанской коры, а на отдельных участках фрагментарно сохранившиеся блоки гранитно-метаморфического слоя. Протяженность островных дуг — многие сотни и даже тысячи километров. Вдоль них со стороны океана прослеживаются глубинные разломы, уходящие вглубь на 600—800 км. В. А. Апродов [1] выделяет шесть типов островных дуг: Марианский, Курильский, Японояванский, Австралазийский, Суматринский и Антильский. Каждый из них характеризуется своеобразием геологического строения, проявления вулканизма, взаимосвязи подземных и океанских вод.

Дуги марианского типа заложены на океанской коре. Возраст эффузивов, слагающих ВБ, не старше олигоценового. Вулканиты имеют преимущественно средний состав и образуют щитовые вулканы с небольшими кальдерами. Это ВБ малых форм. Их вершины поднимаются над морем на несколько сотен метров, а нередко находятся и под водой. Широко распространены гидротермы фумарольного типа, а также горячие углекислые воды. Состав терм: кислых — сульфатно-хлоридный, а щелочных — гидрокарбонатно-хлоридный. На морских террасах формируются линзы пресных вод.

Дуги курильского типа заложены на границе континентальной и океанской кор в конце мелового периода. ВБ преимущественно сложены андезитами и дацитами, а также их пирокластами. Строение ВБ сложное, а размеры значительно большие, чем в дуге марианского типа. В основании ВБ залегают дислоцированные и метаморфизованные осадочно-вулканогенные породы позднемелового и более молодого возраста. К подножью вулканов вдоль побережий и на перешейках прислонены артезианские бассейны с мощностью чехла туфогенно-осадочных отложений 200—300 м. Высота вулканических построек 1000—1800 м. Расчлененный рельеф способствует образованию большого количества источников с пресной водой. Их дебит часто превышает 10 л/с. Среди гидротерм, формирующихся вблизи очагов современного вулканизма, преобладают кислые воды сульфатного состава. На склонах действующих вулканов обнаружены воды фумарольного типа с минерализацией от 0,5 до 60 г/л.

Дуги японояванского типа заложены на континентальной коре в конце юрского периода. В осевой части дуг и в их внешней части, обращенной к океану, ВБ сложены, в основном, андезитами, а в тыловой части, обращенной к окраинным морям, — преимущественно базальтами. ВБ не занимают главенствующего положения среди других структур. Рассматриваемый тип дуги представляет собой сочетание горстов древних метаморфических пород и выступов интрузивов, образующих гидрогеологические массивы, вулканогенных построек и впадин, выполненных молодыми туфогенно-осадочными отложениями, представляющими собой артезианские бассейны. На Японских островах, например, соотношение площадей указанных структур примерно 3:1:1.

Наибольшую обводненность в ВБ имеют пемзовые потоки, занимающие на Японских островах значительные площади. На склонах вулка-

нических гор выходят на поверхность многочисленные и обильные источники пресных вод. Например, суммарный дебит источников, вытекающих у подножья вулкана Фудзи, равен 45 $м^3/с$.

В районах молодого вулканизма наблюдается большое число термальных источников. Так, только в Японии их насчитывается около 1000. Более широкое, чем воды фумарольного типа, получили распространение в этих районах углекислые и азотно-углекислые щелочные воды гидрокарбонатно-хлоридного натриевого состава.

Дуги австралазийского типа образовались в начале кайнозоя на окраине погружавшейся континентальной платформы. Ее особенностью является наличие глубинных разломов и сопутствующих им глубоководных желобов как со стороны океана, так и со стороны окраинных морей. Это определяет блоковый характер строения островов и весьма расчлененный вулканический рельеф с характерным обилием конусов вулканов. Среди эффузивов преобладают основные разности — базальты и их разновидности. Широкое развитие полей фумарол, сольфатар и мофетт обуславливает образование многочисленных термальных источников. В их газовой фазе преобладает углекислый газ, сероводород и азот. Воды могут быть как кислыми, так и щелочными. Ведущими компонентами в составе этих вод являются хлор-ион и натрий. Пресные воды, по-видимому, занимают в ВБ ведущее положение, но они находятся в сложном взаимодействии с вулканическими и океанскими водами.

Дуги суматринского типа — это омоложенные в результате активизации тектономагматических процессов древние островные дуги. Для них характерно сочетание денудированных рифтовых систем и горных цепей. Среди вулканических пород главное место занимают их кислые разности (ранний плейстоцен), андезиты (поздний плейстоцен), базальты (голоцен). Высокая проницаемость вулканитов способствует формированию мощных потоков пресных подземных вод, которые в основании вулканов образуют крупные источники. По данным В. Роувера (1966), в районе г. Меданом из игнимбритов вытекают несколько десятков источников с суммарным дебитом 500 л/с. Вулканическая деятельность, как и в других регионах, способствует проявлению терм разнообразного состава — сероводородно- и азотно-углекислых.

Антильская островная дуга заложена на океанской коре и отличается от других большими сдвиговыми перемещениями вдоль крупных разломов, что привело к пересечению ею зоны глубоводных желобов, обычно располагающейся вдоль дуги. Молодой вулканизм проявился, в основном, во внутренней (западной) зоне Малых Антильских островов. ВБ имеют относительно небольшие размеры — сотни квадратных километров. Состав эффузивов разнообразный — от основного до кислого. Водоносность вулканитов, судя по условиям залегания и водного питания, высокая. Активная фумарольная и сольфатарная деятельность вокруг действующих вулканов способствует образованию терм различного состава.

*Вулканогенные бассейны океанов.* Дно океанов, по выражению Г. Ф. Макаренко [5], представляет собой «базальтовую скорлупу» мощностью в несколько километров. Саму по себе эту «базальтовую скорлупу», а точнее базальтовый слой океанской коры, там, где он выходит на поверхность океанского дна, следует относить не к ВБ, а к субокеанским массивам трещинных вод [2]. ВБ океанов образует надстройки из молодых, большей частью щитовых базальтовых покровов. На дне Тихого океана, например, насчитывается более 10000 подводных вулканов. На дне

Индийского океана их около 1000, а Атлантического океана — около 4000. Некоторые вулканические сооружения выходят на дневную поверхность, образуя острова в океане. С точки зрения гидрогеологических особенностей ВБ океанов следует разделить на две группы: ВБ островов (надводные) и океанские ВБ (подводные).

Вулканические бассейны островов располагаются на подводных хребтах или посажены на крупные сводовые поднятия. Так, например, в Тихом океане наблюдается несколько цепочек островов (Каролинские — Маршалловы, Императорские — Лайн-Туамоту, Гавайские — Маркизские и др.). Большое число ВБ приурочено к одиночным островам, располагающимся на выступах срединно-океанических хребтов и тектонических поднятий. Многие вулканические острова напоминают айсберги, поскольку бóльшая их часть расположена под уровнем океана. Так, например, подножье вулкана Питон-де-Неж на о-ве Реюньон в Индийском океане находится на глубине 4 км, а вершина поднимается над уровнем океана на 3 км. Таким образом, среди вулканических островов имеются своеобразные «крыши мира», но стены у этих построек затоплены водой.

Вулканические бассейны островов сложены преимущественно базальтами, их щелочными разновидностями. Однако, поскольку проявление вулканизма происходило в несколько фаз (например, на Гавайях отмечается восемь фаз), то в разрезе вулканогенов встречаются эффузивы с некоторым повышением кислотности. Важно отметить, что в экваториальных областях океанов рядом с ВБ, а иногда на их опущенных под воду частях, растут рифовые постройки — огромные вместилища подземных вод океанского происхождения.

Наибольшей обводненностью в ВБ островов характеризуются пемзовые и пепловые образования, брекчированные разности глыбовых лав, погребенные почвы и др. Широкое их развитие способствует поглощению более 50% атмосферных осадков [2]. Производительность скважин достигает 130 л/с. Переслаивание водоносных и водоупорных пород, пересечение их дайками, выполняющими роль барража, и водопроницаемыми разломами создает сложную гидродинамическую картину. Пресные воды в пределах островов, имеющих размеры сотни квадратных километров и более, залегают на глубине 300—400 м ниже отметки уровня. В прибрежной зоне наблюдается внедрение океанских вод. Здесь под пресными водами на небольшой глубине вскрываются соленые.

В районах развития современного вулканизма широко проявляется газогидротермальная деятельность. Так, например, на территории Исландии выделяется четыре зоны термальных вод, различающихся по газовому составу, — азотных, углекислых, азотно-углекислых и водородных [4]. Их минерализация обычно относительно невелика (0,15—1,5 г/л), редко достигает 5 г/л и более. Состав вод разнообразный — гидрокарбонатный, сульфатный, хлоридный при заметном содержании разнообразных микрокомпонентов (кремнезема, фтора, а также меди, цинка, ртути, лития и др.).

Океанские ВБ (подводные) практически не изучены. Исследование поверхности океанского дна показало их морфологическую неоднородность. Так, на дне Атлантического океана из 4000 вулканов примерно 25% имеет высоту более 1 км, а 75% — менее 1 км. Они приурочены как к рифтовым зонам срединно-океанических хребтов, так и к трансформным разломам, примыкающим к ним. Субаквальные ВБ содержат соленые воды океанского типа. На участках современного вулканизма установлены многочисленные проявления субаквальной разгрузки гидротерм,

где отмечаются отложения кремнистых соединений и ангидритов («белые курильщики»), сульфидов и ангидритов («черные курильщики»). Температура раствора в месте выхода достигает 412°С (хребет Хун-де-Фука).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. *Апродов В. А.* Вулканы. М.: Мысль, 1982, 368 с.
2. *Дэвис С., Р. де Уист.* Гидрогеология. М.: Мир, 1970, 254 с.
3. *Кирюхин В. А., Толстихин Н. И.* Региональная гидрогеология. М.: Недра, 1987, 382 с.
4. *Кононов В. И.* Геохимия термальных вод областей современного вулканизма. М.: Наука, 1983, 216 с.
5. *Макаренко Г. Ф.* Вулканогенные моря Земли и Луны. М.: Недра, 1983, 143 с.
6. *Наливкин Д. В.* Ураганы, бури и смерчи. Л.: Наука, 1969, 487 с.
7. *Святловский А. Е.* Атлас вулканов СССР. М.: Наука, 1959, 174 с.