

О ЦИКЛИЧНОСТИ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Вопрос о цикличности вулканических процессов, т. е. об известной повторяемости сходных явлений в поступательно развивающемся тектоно-магматическом процессе, представляет одну из важнейших проблем вулканологии.

В этой проблеме много еще неясного, об объемах циклов и сущности явления цикличности существуют противоречивые мнения. Некоторые исследователи вообще ставят под сомнение существование цикличности вулканических процессов, как закономерного явления. Такая точка зрения была недавно высказана И. В. Лучицким (1963) и Г. М. Фремдом (1963). По мнению Г. М. Фремда, понятие о цикличности вулканических процессов основано на неверной предпосылке о существовании в вулканических районах единого магматического очага, дающего все более и более кислый состав магмы. Как пишут И. В. Лучицкий и Г. М. Фремд, детальные исследования в вулканических районах Казахстана обнаруживают сложность строения вулканогенных толщ, в которых чередуются магматические продукты различного состава и нередко соседствуют лавовые излияния, не могущие быть продуктами одного магматического очага.

Крупномасштабные геологические съемки на Дальнем Востоке тоже показали пестроту состава и фациального характера вулканогенных толщ как на площади, так и в разрезах. На детально закартированных участках выявились многочисленные магноподводящие каналы и интрузивные тела в виде вулканических некков, даек, экструзивных куполов, субинтрузивных тел пластообразной, лаколитоподобной и других форм. Вулканические продукты у различных центров извержений весьма разнообразны по своему механическому и химическому составу. Резкая смена магматических продуктов различного состава нередко, действительно, показывает неприемлемость представлений об их происхождении из единого магматического очага.

Необходимость разобраться в сложном переплетении разнородных субинтрузивных тел и в запутанных взаимоотношениях вулканических продуктов различного состава диктуется частым залеганием у субинтрузий, экструзий и других вулканических аппаратов рудных залежей. При детальных поисковых работах геологов уже не удовлетворяют стратиграфические шкалы, выработанные для обширных вулканических районов при мелкомасштабных исследованиях. Естественно, что эта неудовлетворенность слишком общими стратиграфическими схемами, отражающими главные закономерности развития магматических процессов, вызывает критические замечания по поводу упрощенных представлений о цикличности вулканических проявлений, тем более, что наблюдения над современными вулканами показывают значительные изменения в составе лав, одновременно изливающихся из различных, иногда соседних очагов.

Однако ни действительная фациальная сложность вулканических толщ, ни выявляющаяся несостоятельность взглядов об образовании этих толщ за счет общего магматического очага, ни очевидное общее поступательное развитие магматического процесса Земли не могут служить причинами для отрицания цикличности (правильнее было бы оказать— ритмичности) вулканических явлений.

Вулканические процессы являются тонким индикатором тектонических условий, периодичность изменения которых мало у кого вызывает сомнения. Отдельные эпизоды—вулканические вспышки, происходящие нередко в различных структурных условиях, относящиеся к различным фазам развития данного вулкана, т. е. все эти «пестрые» извержения в масштабе геологического времени, создают в те или иные эпохи характерные вулканические толщи, чередующиеся, в общем, в определенной последовательности. При этом состав вулканических продуктов и последовательность в смене различных вулканических пород обычно видоизменяются в различных структурно-формационных зонах.

Несостоятельность теории единого очага не говорит еще о несостоятельности теории цикличности. Наоборот, явления, связанные с вулканической цикличностью, легче объясняются с позиций современных представлений о разноглубинных магматических очагах, чем дифференциацией магмы единого очага.

Благоприятными районами для изучения закономерностей вулканических процессов являются молодые вулканические пояса на восточной окраине Азиатского материка. Исследования притихоокеанских вулканических областей показывают четкое циклическое строение позднемиоценовых, палеогеновых и неогеновых толщ. Использование этой цикличности имеет большое значение для стратиграфии и облегчает поиски полезных ископаемых. Вопрос о вулканических циклах оказывается связанным с важной геоморфологической проблемой образования высоких поверхностей выравнивания. Сравнение разновозрастных вулканических циклов в пределах тектонически однородных районов помогает выявлению общей направленности тектоно-магматических процессов. Сопоставление разновозрастных циклов различных областей выявляет тектонические особенности этих областей, т. е. облегчает тектоническое районирование. Все это заставляет уделить явлению цикличности серьезное внимание и оправдывает составление настоящей статьи на основе материалов работ как автора, так и других исследователей в притихоокеанских вулканических зонах.

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИИ О ЦИКЛИЧНОСТИ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ У ТИХОГО ОКЕАНА

Вулканические процессы, тектонические движения, формирование рельефа, седиментация — все эти явления находятся в тесной взаимосвязи. Цикличность вулканических процессов подчинена общей периодичности в развитии Земли. Поэтому естественно, что объемы «вулканических», «геотектонических», «геоморфологических» и «седиментационных» циклов в значительной степени совпадают.

Существует несколько порядков геотектонических циклов, от общих, продолжительностью в сотни миллионов лет, до частных, охватывающих промежутки времени в 10—25 млн. лет. Последние проявляются крупными ритмами отложений, обычно отделенными друг от друга несогласиями. Этим седиментационным ритмам в вулканических районах соответствуют «элементарные» вулканические циклы.

Ранее большинство исследователей учитывало преимущественно крупные циклы. Выявившаяся при металлогеническом анализе «полицикличность» развития большинства подвижных областей заставляет теперь обратить внимание и на более частные циклы.

Впервые на ритмичность строения палеогеновых и неогеновых толщ Сахалина и Камчатки указал в 1938 г. И. Б. Плешаков. Толщи-циклы с континентальными отложениями внизу и морскими вверху, выделенные им, оказались легко сопоставимы в пределах обширных территорий Сахалина и Камчатки, на основании чего он и сделал правильный вывод об обусловленности этого явления широко проявившимися тектоническими движениями — фазами альпийской складчатости. В циклах, выделенных И. Б. Плешаковым, вулканические проявления занимают вполне определенное положение, именно вулканические продукты основного состава приурочены преимущественно к нижним, а более кислого — к верхним частям циклов.

Ритмичность строения палеогеновых и неогеновых толщ Сахалина была подтверждена в последующем работами Б. М. Штемпеля, А. А. Капицы, И. Н. Кузиной, И. И. Ратновского, Б. А. Сальникова, С. Н. Алексейчика и других исследователей. С. Н. Алексейчик (1963) в палеогене и неогене Сахалина выделил 6 седиментационных циклов. Б. А. Сальников (1961) разделил угленосные отложения одного из неогеновых седиментационных циклов на ряд частных ритмов, оказавших большую помощь при корреляции разрезов.

Циклическое строение разрезов палеогена и неогена подтвердилось при проведении геологических съемок и на Камчатке. В районах сплошного развития труднорасчленимых вулканогенных толщ цикличность строения разрезов оказалась весьма важной для стратиграфии, что помогло выделить четко обособляющиеся циклы отложений и сопоставлять их с одновозрастными вулканогенно-осадочными и осадочными отложениями соседних прогибов. Примером может служить Центрально-Камчатская вулканическая зона, где вулканические циклы, выделенные при мелкомасштабных геологических съемках, впоследствии были подтверждены многолетними тематическими работами В. К. Ротмана (1963). В мощных (более 3000 м) вулканогенных толщах Центральной Камчатки В. К. Ротман выделил 3 толщи-цикла, разделенных несогласиями. В основании циклов лежат базальтовые и андезитово-базальтовые лавы, выше сменяющиеся более кислыми вулканическими продуктами. В верхней части некоторых циклов, вместе с вулканическими продуктами наиболее кислого состава, развиваются гранитоидные интрузии и проявляются сильные гидротермальные процессы.

К. Ф. Сергеев, изучавший в 1959—1963 гг. вулканогенные толщи Курильских островов, установил проявление в них четкой цикличности со сменой снизу вверх основных пород более кислыми. Выделенные им в палеоген-неогеновых образованиях четыре цикла прослеживаются в пределах всей Большой Курильской дуги. Каждому циклу соответствуют характерные комплексы интрузивных пород. В верхней части циклов Курильских островов хорошо проявляется и регрессивная серия отложений. Более часто в притихоокеанских вулканических зонах наблюдается развитие лишь трансгрессивной части циклов. Это указывает на плавность опусканий при накоплении пород циклов и резкости поднятий, обуславливающих несогласия и резкую смену одного цикла другим.

За пределами вулканических районов вулканические циклы переходят в седиментационные. Обособляющиеся таким образом толщи вулканогенных и осадочных пород являются стратиграфическими подразделениями (порядка местных серий), выдерживающимся на больших площадях. Примером цикличности низшего порядка в вулканогенных породах являются четкие ритмы, наблюдающиеся в кратерно-озерных отложениях Курильских островов и Камчатки (Власов, 1960).

Не менее четко циклическое строение вулканогенных толщ проявлено в пределах Южного Приморья и Сихотэ-Алиня, причем более детальные работы на отдельных участках этих областей, как правило, подтверждали

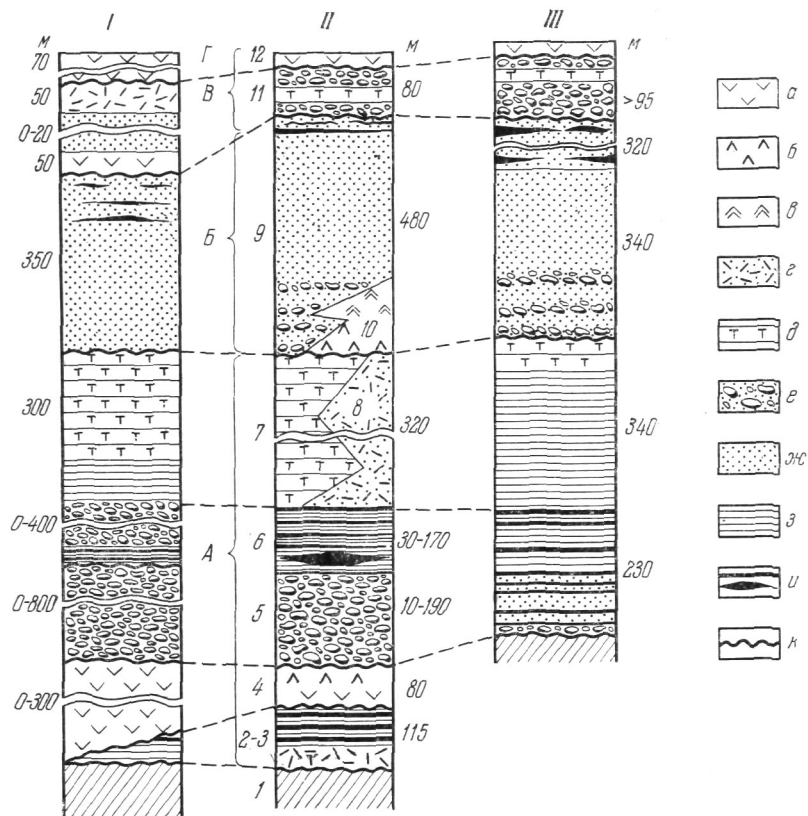


Рис. 1. Нормальные разрезы третичных образований южной части Приморья и северной части п-ова Кореи

I — разрез депрессии мейсен Северной Кореи (по Ф. Яманари); II — разрез хасанского бурогольного месторождения (по Г. М. Власову); III — разрез угловского бурогольного месторождения (по Б. М. Штемпелю и Г. М. Власову)

Стратиграфические подразделения (цифры у колонки II): 1 — дотретичные породы; А — палеоген; 2 — посьетские липариты и трахиты; 3 — посьетская угленосная свита; 4 — зайсановские оливиновые базальты (внизу) и двупироксеновые андезиты; 5 — конгломератовая подсвита хасанской свиты; 6 — угленосная подсвита хасанской свиты; 7 — надеждинская свита; 8 — краскинские липариты; Б — миоцен; 9 — усть-давыдовская свита; 10 — андезиты и дациты мыса Шелехова;

В — плиоцен; 11 — суйфунская свита; Г — четвертичные породы; 12 — плато-базальты

Литологический состав: а — базальты; б — андезиты; в — дациты; г — липарито-дациты и липариты; д — пепловые туфы; е — конгломераты; ж — песчаники и алевролиты; з — аргиллиты; и — угли; к — несогласия

и лишь несколько уточняли представления о цикличности, полученные мелкомасштабными геологическими съемками.

В Южном Приморье для позднемиоценового, палеогенового и неогенового времени автор настоящей статьи выделил, главным образом по материалам детальных съемочных, поисковых и разведочных работ на Угловском и Хасанском бурогольных месторождениях, четыре цикла (верхнемиоценовый, раннепалеогеновый, позднепалеогеновый и неогеновый), в которых закономерно сменяются (снизу вверх) лавы основного состава более кислыми вулканическими продуктами. В верхней части некоторых циклов имеются субвулканические интрузии. Вне вулканических зон вулканические циклы постепенно сменялись седиментационными ритмами туфогенно-осадочных отложений с грубообломочными отложениями внизу и более тонкими осадками вверху, указывающими на значительную выровненность рельефа области размыта. Смена вулканических пород осадочными в циклах проявляется при прослеживании третичных отло-

жений Хасанского района как на север, в Угловский район, так и на юг, в депрессию Мейсен, в северной части п-ова Кореи (рис. 1). Расстояния между разрезами, показанными на колонках, составляют 100—150 км.

Верхнемеловой и палеогеновый циклы с такой же, как в Хасанском районе, последовательностью накопления вулканических продуктов проявились в детально изученных в 1953—1960 г. Е. В. Быковской (1960) вулканогенных толщах Южного Сихотэ-Алиня (Ольго-Тетюхинский район). Точность сопоставления циклов Южного Приморья и Южного Сихотэ-Алиня (рис. 2) контролировалась найденными в туфогенных породах органическими остатками и определениями абсолютного возраста эффузивов.

К определенному выводу об отчетливой цикличности верхнемелового палеогенового и неогенового разрезов Южного Приморья и Южного

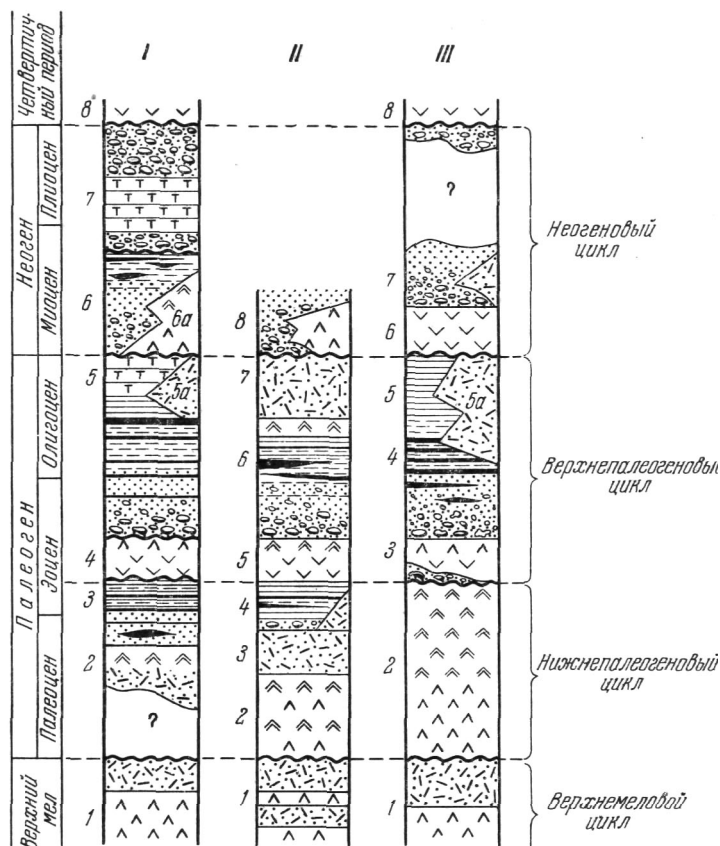


Рис. 2. Сопоставление разрезов верхнемеловых и палеогеново-неогеновых отложений Южного Приморья, Южного Сихотэ-Алиня, Центрального и Северного Сихотэ-Алиня I — разрез западного берега Амурского залива, (Южное Приморье, по Г. М. Власову): 1 — верхнемеловые породы; 2 — посъетские эффузивы; 3 — назимовская свита; 4 — зайсановские базальты; 5 — хасанская угленосная свита; 5a — краскинские липариты; 6 — усть-давыдовская свита; 6a — андезиты и дациты мыса Шелехова; 7 — суйфунская свита; 8 — плато-базальты; II — разрез Ольго-Тетюхинского района (Южный Сихотэ-Алинь; по Е. В. Быковской): 1 — верхнемеловые породы; 2 — сияновская свита; 3 — богопольская свита; 4 — топаузская свита; 5 — суворовская свита; 6 — возновская свита; 7 — брусиловская свита; 8 — неогеновые андезито-базальты, андезиты, местами грубообломочные туфогенные породы; III — разрез р. Ккудин — р. Самарга-бухта Сизиман-Амурский лиман, Центральный и Северный Сихотэ-Алинь (по В. Г. Плахотнику, В. А. Ярмолюку, Л. Б. Кривицкому и др.): 1 — верхнемеловые породы; 2 — самаргинская свита; 3 — кузнецовская свита; 4 — ккудинская угленосная свита; 5 — липаритовые пепловые туфы; 5a — липариты, липарито-дациты, перлиты; 6 — кизинская свита; 7 — неогеновые экструзивные и туфогенно-осадочные породы; 8 — плато-базальты

Сихотэ-Алиня пришли и многие другие исследователи (Берсеньев, 1963 и др.).

Исследования в Центральном и Северном Сихотэ-Алине обнаружили и в этих районах циклическое строение верхнемеловых и палеогеново-неогеновых толщ, сходное, как видно из рис. 2, с наблюдаемым в Южном Приморье и Южном Сихотэ-Алине (В. А. Ярмолюк, 1947—1948 гг.; Л. Б. Кривицкий, 1948; Г. М. Власов, 1933, 1950 гг.; М. А. Фаворская, 1946—1948 гг.; В. Г. Плахотник, 1953—1955 гг.; Э. П. Изох, 1959—1960 гг. и др.). Многолетние тематические исследования группы сотрудников ВСЕГЕИ (Э. П. Изох, И. В. Кунаев, Н. В. Луцкина, М. Г. Павлов, В. В. Русс и др.) установили, что каждый из вулканических циклов с последовательным изменением состава лав от сравнительно основного к кислому, отделен от других циклов угловым несогласием и включает серию интрузивных пород, также с последовательно меняющимся составом от основных к кислым (Э. П. Изох, 1964 г.). Интрузивные породы, комагматичные эффузивам, были выделены для различных частей верхнемелового и раннепалеогенового циклов Центрального и Северного Сихотэ-Алиня М. А. Фаворской (1956) и В. А. Кигай (1963). М. А. Фаворская отмечает также существование кор выветривания на базальтах, залегающих в основании циклов. Общий характер верхнемеловых и палеогеново-неогеновых разрезов и циклов в этих разрезах очень выдержан: надо учесть, что расстояния между нормальными разрезами, приведенными на рис. 2, составляют 300—500 км.

Четкую цикличность в строении вулканогенных толщ Охотско-Чукотского вулканического пояса описывают В. А. Титов (1945), И. М. Сперанская (1963) и др. И. М. Сперанская подчеркивает устойчивость границы между циклами, выраженной несогласием, в пределах всего Охотского побережья.

В. Г. Сахно (1963) цикличность развития вулканизма в течение позднего мезозоя (с верхней юры до конца мелового времени) устанавливает для Средне-Амурской, Западно-Сихотэ-Алиньской, Восточно-Сихотэ-Алиньской, Наданьхада-Бикинской и других вулканических зон Дальнего Востока.

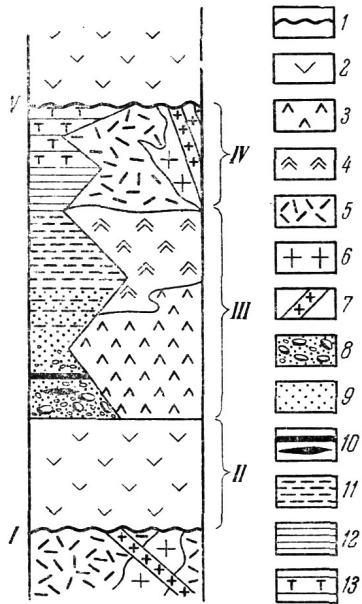
Е. А. Радкевич (1961) циклическое строение вулканических толщ с изменением пород в пределах циклов от более основных, к более кислым отмечает как общую особенность вулканических поясов Советского сектора Тихоокеанского рудного пояса. Это явление она связывает с единым режимом тектонического развития вулканических поясов а пределах обширного региона.

Закономерности, обусловившие цикличность толщ в пределах Советского Дальнего Востока и Северо-Востока, по-видимому, проявлялись и в соседних зарубежных странах: характерные верхнемеловые и палеогеново-неогеновые вулканические толщи распространены за пределами нашей территории в соседних однотипных структурах Китая, п-ова Кореи и Японии. Примерами могут служить мощные толщи кислых эффузивно-пирокластических пород, венчающие верхнемеловой цикл за пределами Сихотэ-Алиня: в Южной Корее, Юго-Восточном Китае и Юго-Западной Японии (толща Буккокуджо), а также широкое распространение нижнемиоценовых базальтов и андезито-базальтов, слагающих основание неогенового цикла не только на территориях Камчатки, Сахалина и Курильских островов, но и в Японии (серия Мисака). Позднеплиоценовое время, отвечающее завершению позднеогенового цикла, характеризовалось на обширных площадях Восточной Азии извержениями больших масс пелловых туфов, пемзы и других агломератовых пород кислого состава.

Палеогеновые и неогеновые отложения Южного Приморья и Сихотэ-Алиня формировались в отдельных впадинах с горным обрамлением.

Рис. 3. Схема элементарного цикла

1 — межцикловая поверхность выравнивания; 2 — базальты; 3 — андезиты; 4 — дациты; 5 — липарито-дациты и липариты; 6 — гранитоидные интрузии; 7 — дайки лампрофировых пород; 8 — конгломераты; 9 — песчаники; 10 — угли; 11 — алевролиты; 12 — аргиллиты; 13 — пепловые туфы; I, II, III, IV, V — этапы формирования цикла



Исследованиями М. А. Фаворской (1956) Ю. Ф. Чемякова (1953), Н. А. Лебедевой (1957) и других в окружающих впадины горных районах были установлены высокие выровненные поверхности, бронированные базальтовыми лавами и несущие на себе коры выветривания. В настоящее время они подняты на абсолютные высоты до 800—1100 м. Н. А. Лебедева установила коррелятивные связи между процессами выравнивания, создавшими эти поверхности, и толщами сравнительно тонких осадков, аккумуляровавшихся во впадинах в эпоху с выровненным рельефом. Возраст высоких выровненных поверхностей оказался эоценовым, олигоценным, миоценовым и позднеплиоценовым, т. е. по времени образования поверхности выравнивания соответствуют границам циклов в разрезах впадин и соседних геосинклинальных прогибов (Власов, 1958).

Установление аналогии межцикловых поверхностей с поверхностями выравнивания открывает широкие возможности для выяснения геологической сущности циклов и природы выровненных поверхностей, т. е. для решения важнейшей проблем геологической и геоморфологической (Мещеряков, Горелов, 1963).

Таким образом, работами у Тихого океана выявляется совпадение седиментационных, вулканических и геоморфологических циклов, что естественно ввиду общности причин, обусловивших все эти явления.

ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЦИКЛОВ

Схема элементарного вулканического цикла, в его наиболее общем виде, приведена на рис. 3. Формирование такого элементарного цикла может быть разбито на следующие этапы.

1. Образование поверхности выравнивания, приуроченное к окончанию складкообразовательных движений. Смена этих движений поднятиями обычно сопровождается довольно продолжительной тектонической паузой, в течение которой происходит выравнивание рельефа и образуется кора выветривания (Пейве, Сеницын, 1950).

2. Перекрытие выровненной поверхности покровами лав основного состава, что может быть объяснено таким образом: следующие за складчатостью общие эпейрогенетические поднятия сопровождаются глубокими расколами земной коры и излияниями по образовавшимся трещинам базальтовых лав из глубинных очагов. Перекрытие выровненных поверхностей базальтовыми покровами и приуроченность базальтовых излияний к началу поднятий — представляет закономерное явление, отмеченное для многих вулканических районов (Армения — Паффенгольц, 1938; Северный Китай — Ishimura, 1933, и др.).

3. Накопление толщи вулканических пород среднего и кислого состава с развитием кислых пород преимущественно в верхней части.

По-видимому, за счет той же базальтовой магмы в более высоких частях земной коры образуются периферические магматические очаги, дающие при дифференциации и других процессах все более и более кислые вулканические продукты.

4. Наибольшее раскисление вулканических продуктов по времени совпадает со складкообразовательными движениями и внедрением интрузий. После становления интрузий нередко формируются дайки лампрофировых пород, что большинство исследователей связывает с продвижением к поверхности по трещинам магмы из более глубинных очагов.

5. Наконец, после прекращения складкообразовательных движений формируется новая межцикловая поверхность выравнивания.

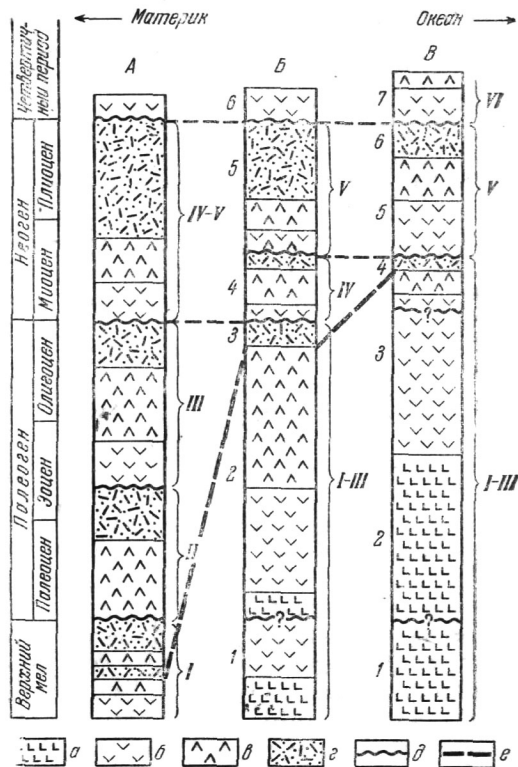
Выше отмечалось, что в разрезах вулканогенных пород Большой Курильской дуги имеются и регрессивные части циклов. Эти верхние части циклов обычно сложены базальтовыми и андезито-базальтовыми лавами, которые несогласно перекрываются вулканогенно-обломочными породами близкого по составу характера. Такие видоизменения циклов понятны, если учесть приуроченность излияний основных лав к началу поднятий и то, что в геосинклинальных прогибах эти излияния начинаются еще в подводных условиях. Поэтому более ранние базальтовые потоки ложатся согласно на нижележащие отложения, образуя верхнюю регрессивную часть цикла. Лишь при дальнейшем развитии поднятий продолжающийся в субаэральных условиях вулканизм (совместно с размывающей деятельностью моря) обуславливает несогласное перекрытие основных лав вулканогенно-обломочными породами сходного состава. Таким образом, по характеру верхней части вулканических циклов можно различать подводные и субаэральные излияния основных лав.

В соседних, с вулканическими зонами, впадинах и прогибах видоизменения циклов заключаются, прежде всего, в полном или частичном замещении вулканических пород туфогенно-осадочными отложениями. На межцикловой поверхности (часто с корой выветривания) здесь обычно лежат базальные конгломераты, выше нередко сменяющиеся угленосными отложениями, а затем — морскими терригенными отложениями с последовательно уменьшающимися размерами обломочных зерен. Вблизи вулканических зон в седиментационных циклах проявляются отдельные потоки базальтовых и андезитовых лав, а в верхних частях циклов залегают слои кристаллических и пепловых туфов или мощные толщи алевролитовых и пелитовых туффигов, соответствующих по составу кислым лавам.

Близки к изложенным представления о цикличности вулканических процессов многих исследователей других районов СССР, например, Карпат (Соболев, Костюк и др., 1955), Малого Кавказа (Паффенгольц, 1962; Габриелян, 1962, и др.), Казахстана (Коптев-Дворников, 1940), Азербайджана (Абдулаев, 1962) и др. В пределах большинства вулканических областей СССР наблюдаются общие периодические изменения состава изливавшихся лав от основных или средних к кислым и установлены закономерные связи этого явления с другими процессами (поднятия и опускания, растяжение и сжатие Земли, внедрение интрузий, эндогенное рудообразование и пр.). Тектоно-магматические циклы различного порядка выделяются многими исследователями на Урале, причем возрастные границы циклов изменяются в пределах всей Уральской складчатой области очень незначительно (Штейнберг, 1983). Описанные элементарные циклы, характерные для притихоокеанских вулканических областей, близки по своим особенностям и продолжительности к геотектоническим циклам третьего порядка Урала, соответствующим промежуткам между фазами складчатости. «Внутри этих циклов,— подчеркивает А. А. Пронин (1963),— главным образом и наблю-

Рис. 4. Изменения разрезов вулканических толщ в районах, различно удаленных от Тихого океана

А — Восточный Сихотэ-Алинь (окраинный вулканический пояс). Наименования свит см. на рис. 2; *Б* — Центральная Камчатка (внутренняя дуга): 1—ирунейская серия; 2—крапивнинская свита; 3—альбитофиры бухты Жировой; 4—березовская свита; 5—алнейская серия; 6—плато-базальты. *В* — Восточная Камчатка (внешняя дуга); 1—верхнемеловые эффузивы и туфы; 2—краноцкая серия; 3—богачевская серия; 4—тюшевская серия; 5—кавранская серия; 6—эрмановская свита; 7—четвертичные породы Восточного вулканического пояса. Литологический состав: *а* — спилиты; *б* — базальты и андезито-базальты; *в* — андезиты и андезито-дациты; *г* — липариты и липарито-дациты; *д* — несогласия; *е* — нижняя стратиграфическая граница кислых вулканических пород; I—VI — вулканические циклы



даются закономерность развития и взаимосвязь осадочного, тектонического и магматического процессов». Важнейшее значение в абсолютной геохронологии циклов продолжительностью в 8,5—11 млн. лет подчеркивает Н. Ф. Балуховский (1963). Н. Ф. Балуховский и другие исследователи (Лунсгергаузен, 1962) связывают происхождение циклов такого порядка с космическими причинами (пульсация поля мирового тяготения и др.).

Таким образом, тектоно-магматические циклы, проявляющиеся в вулканических толщах у Тихого океана, не относятся к провинциальным особенностям, а, очевидно, имеют развитие и в других вулканических областях Советского Союза. Они заслуживают большого внимания и должны выделяться в качестве элементарных геотектонических и вулканических циклов. Продолжительность формировавшихся у Тихого океана циклов примерно составляет: позднемиоценовый (сеноман-дат) — 15—20 млн. лет, раннепалеогеновый (палеоцен — ранний эоцен) — 15—20 млн. лет, позднепалеогеновый (средний эоцен — олигоцен) — 20—25 млн. лет, неогеновый — 25—30 млн. лет. Неогеновый цикл является сложным (суммарным) и в некоторых зонах разделяется на два элементарных цикла: нижне-среднемиоценовый, продолжительностью примерно 10—13 млн. лет, и верхнемиоценово-плиоценовый, продолжительностью 15—17 млн. лет.

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ЦИКЛОВ В ПРОСТРАНСТВЕ И ВО ВРЕМЕНИ

Сравнение разновозрастных вулканических циклов в разрезе одной зоны, а также сопоставление разновозрастных циклов вулканических зон, различно удаленных от Тихого океана, позволяют подметить некоторые закономерности общего порядка (рис. 4).

Изменения циклов в процессе развития какой-либо одной зоны отражают общую направленность вулканического процесса. В подвижных областях эта направленность проявляется последовательным раскисле-

нием магматических пород и все большим приближением периферических магматических очагов к поверхности. Вместе с перемещением очагов вверх происходит сближение эффузивных и интрузивных процессов, нередко до почти полного слияния их в пространстве и во времени. В циклах, отвечающих поздним этапам развития складчатых областей, субвулканические интрузии обычно размещаются среди эффузивных пород кислого состава и тесно ассоциируются с экструзивными куполами, туфолавами, игнимбритами. Образуется типичная вулкано-плутоническая ассоциация магматических пород. В этот период особенно интенсивно проявляются гидротермальные рудообразующие процессы. Поэтому время, когда формируются большие массы кислых вулканических пород с субинтрузиями, является важнейшей металлогенической эпохой. Процесс развития периферических магматических очагов, таким образом, является «сквозным», продолжающимся до окончания стабилизации складчатой области.

После складкообразовательных движений накопление вулканических продуктов периферических очагов прерывается на время излияниями основных лав из более глубоких очагов, и это периодически повторяющееся явление подчеркивает циклическое течение общего магматического процесса.

Все эти закономерности хорошо проявляются в Курило-Камчатской дуге и Восточнэ-Сихотэ-Алиньском вулканическом поясе. Для первого региона достаточно подробные описания имеются в 31-м томе «Геологии СССР» (Камчатка, Курильские и Командорские острова). Н. А. Беляевский, Ю. А. Громов и Л. А. Баскакова (1963), характеризуя особенности позднего этапа развития Сихотэ-Алиня, подчеркивают, что «в конце мела или начале палеогена интрузивная деятельность оказалась самым тесным образом сопряженной с излияниями эффузивов, главная масса которых отвечала риолитовой магме. Одновременно, наряду с ними, появились также базальты, андезиты и другие эффузивные породы среднего и основного состава, которые свидетельствуют о том, что иногда трещины своими корнями уходили в достаточно глубокие зоны земной коры».

К выводу о существовании двух магматических очагов, дававших кислую и более основную магмы, пришел Ф. Г. Федчин (1963), изучавший меловые вулканогенные толщи Малого Хингана.

Существование разноглубинных магматических очагов доказывается геофизическими исследованиями на Камчатке. В то время, как глубина очагов базальтовой магмы определяется геофизикой в 60—70 км (Горшков, 1956), периферические магматические очаги устанавливаются под некоторыми (например, Авачинским) вулканами на глубине 4—6 км от поверхности (Ривош, Штейнберг, 1963).

Разноглубинность магматических очагов и выявляющееся у Тихого океана последовательное перемещение вверх периферических очагов хорошо согласуются с представлениями Ю. А. Кузнецова (1962) о магмообразовании на различных уровнях земной коры и о происхождении различных магматических формаций подвижных зон из разноглубинных очагов.

После стабилизации складчатой области, отмеченной сближением интрузивных и эффузивных процессов и массовым извержением на поверхность кислых магматических продуктов, переход к платформенному состоянию, наоборот, проявляется развитием излияний основных лав. Деятельность периферических магматических очагов к этому времени прекращается или ослабевает, общая же жесткость земной коры способствует образованию глубоких трещин и проникновению базальтовой магмы из глубинных очагов. Для Восточного Сихотэ-Алиня этот момент наступил в конце мелового — начале палеогенового времени, для Центральной Камчатки — в конце неогена. Курильские острова и Восточная

Камчатка лишь сейчас вступают в эпоху выходов периферических магматических очагов на поверхность и извержений кислого вулканического материала в форме грандиозных эксплозий с выбросами больших масс пемзы, формированием игнимбригов и пр. Соответственно перемещаются во времени при движении с запада на восток и важнейшие металлогенические эпохи (поздний мел — палеоген для Сихотэ-Алиня, неоген — для Центральной Камчатки, продолжающиеся в настоящее время процессы рудообразования в современной геосинклинальной обстановке Курильских островов и Восточной Камчатки). Все эти явления — отражение последовательного развития тектонических процессов у Тихого океана с запада на восток.

Кроме омоложения возраста кислых вулканических пород в восточном направлении, отличия тектонической структуры различных зон у Тихого океана подчеркиваются общим уменьшением количеств кислых лав и туфов по направлению к Тихому океану. Как отмечает Е. К. Устиев (1963), средний состав магматических продуктов окраины Азиатского материка соответствует липаритам, Камчатки и Курильских островов — андезитам, внутриокеанической области — базальтам. Меняется соответственно и металлогения различных зон, причем даже однотипные формации характеризуются в различных зонах отличным составом руд. Все это отражает различия в строении земной коры притихоокеанских областей.

На рис. 4 видно, что вулканические циклы становятся «мельче» в поздние этапы развития складчатой области. Это, по-видимому, связано с увеличением жесткости земной коры, что способствует образованию расколов и более частым прорывам базальтовой магмы к поверхности. В Сихотэ-Алине наиболее мелкие (но четкие) циклы проявились в поздне меловое и палеогеновое время, в последующем же, после окончательной стабилизации области, границы циклов стали неопределенными, и частные циклы сливались в более крупные («суммарные»). В области более поздней стабилизации (Центральная Камчатка) четкая дифференциация циклов начинается лишь после окончания ранних этапов развития, с неогена. Наконец, во внешних дугах (Восточная Камчатка) обособление элементарных циклов происходит с конца неогена, причем здесь получает развитие и самый молодой четвертичный цикл. Во всех случаях нижняя возрастная граница развития элементарных циклов совпадает со временем появления значительных количеств кислых вулканических продуктов. Это позволяет догадываться и о второй возможной причине рассматриваемой закономерности: образование элементарных циклов становится возможным лишь после формирования периферических магматических очагов с кислыми дифференциатами на относительно высоких уровнях земной коры. После сказанного становится понятной удивительная четкость циклического строения вулканогенных толщ Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса: окраинные наложенные вулканические пояса типа Сихотэ-Алинского соответствуют самым поздним этапам развития складчатой области. Большая мощность сиала под ними благоприятствует формированию периферических очагов с гранитоидной магмой. Далеко зашедшая дифференциация и приближенность к поверхности очагов обуславливают извержения больших масс кислого вулканического материала. Жесткость земной коры в местах развития поясов способствует образованию разломов и периодическим излияниям базальтовых лав. Благодаря всему этому вулканические циклы в пределах окраинных поясов получают наиболее контрастное выражение.

Из сравнения вулканических циклов различных зон у Тихого океана следует важный вывод о том, что в соседних, но разнотипных вулканических зонах могут одновременно формироваться толщи кислых и основ-

ных вулканических пород. При этом на поднимающихся структурах обычно развивается магматизм с более кислыми магматическими продуктами.

Закономерности, выявляющиеся у Тихого океана, в той или иной степени свойственны и более древним складчатым областям. Например, на Урале также широко проявляется выдержанность магматических комплексов в пределах отдельных структурно-формационных зон и резкая изменчивость магматических образований при переходе в соседние зоны, а иногда и на отдельных участках одной и той же структурно-фациальной зоны с отличающимися структурными условиями. Одновременное формирование спилитов в прогибах и гранитоидов на соседних поднятиях составляет проблему и для Урала, и уральские геологи также склонны объяснять это явление существованием разноглубинных очагов с магмами различного состава и параллельным течением базальтового и гранитоидного магматических процессов.

Таким образом, цикличность вулканических процессов отнюдь не исключает определенной направленности магматических процессов. При использовании закономерностей циклического строения вулканических толщ для целей стратиграфии, тектонического районирования, металлогенического прогнозирования необходимо учитывать не только тектонические условия различных зон, но и особенности общего течения магматического процесса.

Что касается закономерностей развития во времени межцикловых поверхностей выравнивания, то следует сказать, что имеющиеся у Тихого океана возможности для выявления этих закономерностей еще используются в крайне малой степени. Межцикловые поверхности выравнивания по степени выравнивания и масштабу проявления процесса выравнивания на площади, по-видимому, можно подразделить на несколько порядков. В наибольшей степени процесс выравнивания рельефа у Тихого океана проявился в самом конце олигоцена, что соответствует для притихоокеанских молодых складчатых областей прединверсионному периоду, я в конце плиоцена, т. е. в период окончательной стабилизации обширных площадей складчатых областей. Бронирующие эти поверхности нижнемиоценовая и верхнеплиоценово-нижнечетвертичная толщи основных эффузивов являются очень выдержанными на обширных пространствах Восточной Азии. Отчетливо выражены в большинстве районов также и коры выветривания соответствующих возрастов (раннемиоценовая и позднеплиоценово-раннечетвертичная).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Цикличность вулканических явлений связана с общей периодичностью тектонических процессов, и среди вулканических циклов, так же, как и среди геотектонических, могут быть выделены различные порядки. Наиболее четко обособляются частные («элементарные») вулканические циклы, развивающиеся в периоды между отдельными фазами складчатости (чаще 10—25 млн. лет). Вне вулканических зон, в соседних прогибах, вулканические циклы переходят в седиментационные.

2. Межцикловые границы представляют послескладчатые поверхности выравнивания, захороненные под толщами вулканических пород и осадков в структурах, испытывавших опускание (прогибы, впадины).

3. Явление цикличности вулканических процессов хорошо согласуется с существованием разноглубинных магматических очагов.

4. Отражая различные тектонические условия, вулканические циклы оказывают большую услугу при тектоническом районировании территорий. Сравнение разновозрастных циклов одного разреза помогает выявить общую направленность тектонических и магматических процессов.

5. К числу, по-видимому, общих закономерностей относится наблюдающееся у Тихого океана последовательное уменьшение величины циклов и увеличение их контрастности в поздние этапы развития складчатых областей. Наиболее четко элементарные циклы проявляются в окраинных вулканических поясах, формирующихся в заключительный этап развития складчатой области у ее границы с возникающими прогибами.

6. Для успешного использования цикличности при корреляции разрезов, тектоническом районировании, металлогеническом прогнозировании необходимо учитывать обычное изменение состава магматических продуктов и характера цикличности при переходе из одной структурно-формационной зоны в другую. Нередко это происходит и в пределах структурно-формационной зоны при резко меняющихся местных тектонических условиях.

7. Критические замечания в адрес теории цикличности вулканических процессов вызваны главным образом тем обстоятельством, что имеющиеся слишком общие стратиграфические шкалы вулканических областей стали недостаточными при развитии крупномасштабных геолого-съемочных и поисковых работ. Для этих работ необходимы детальные стратиграфические разрезы частных структурно-формационных зон и отдельных участков зон, отличающихся одна от другой тектоническими условиями. В связи с этим сейчас возникает серьезная задача районирования вулканических поясов, выделения в пределах поясов структурно-формационных зон, использования векторности в строении этих зон, выраженной сравнительной устойчивостью тектонических и прочих условий в направлении вдоль простирания зон, при резкой изменчивости этих условий в поперечном направлении. Без решения этой задачи геологи, составляющие детальные карты вулканических областей, не смогут отделить главное от многочисленных частных, обусловленных фациальной пестротой вулканических образований.

Для облегчения дробного тектонического районирования вулканических поясов целесообразно располагать детальные геологические съемки полосами, ориентированными поперек простирания поясов от их границ до границ (как это было сделано в свое время для Кавказа). Это даст возможность получить опорные разрезы и выделить вулканические зоны и подзоны, отличающиеся одна от другой структурой, стратиграфией вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород, металлогенией и другими особенностями. Последующее картирование и поиски полезных ископаемых на промежуточных между разрезами участках вулканического пояса можно будет вести с учетом выявленной зональности и с применением для каждой зоны (и подзоны) собственной стратиграфической шкалы.

Детальные геологические съемки в вулканических районах нуждаются также в создании специализированной легенды, в разработке критериев глубинности формирования интрузивных и субинтрузивных пород, в получении более отчетливых представлений о процессах, происходящих при поднятии магмы в приповерхностную обстановку (взрывы с образованием агломератовых пород, игнимбритов, туфолав; паробразование и дегазация гидротерм; специфические гидротермальные изменения пород; образование над магматическими очагами вулканогектонических депрессий и др.). Эти и многие другие поставленные практикой задачи отражают качественные отличия этапа, в которые входят теперь вулканология и учение о вулканических формациях. В этом новом этапе явлению периодичности развивающегося (с определенной направленностью) вулканического процесса как важнейшей закономерности развития Земли должно уделяться большое внимание.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексейч и к С. И. Тектоника и нефтеносность острова Сахалина. Автореф. докт. дисс. Оха, 1963.
- Абдуллаев Р. Н. Мезозойские вулканические формация Азербайджана.— В сб.: «Вопросы вулканизма». Изд-во АН СССР, 1962.
- Балуховский Н. Ф. Геологические циклы.— Природа, 1963, №2.
- Беляевский Н. А., Громов Ю. А., Баксакова Л. А. Основные черты тектонического развития Сихотэ-Алиня.— В сб.: «Геология и металлогения Советского сектора Тихоокеанского рудного пояса». М., 1963.
- Берсеньев И. И. Основные черты тектоники Приморского края.— В сб.: «Геология и металлогения Советского сектора Тихоокеанского рудного пояса». М., 1963.
- Быковская Е. В. Стратиграфия и петрология верхнемезозойских и кайнозойских вулканогенных образований Ольга-Тетюхинского района. (Автореф. канд. дисс.). Л., 1960.
- Быковская Е. В., Потапова З. П., Соколов Р. П. История вулканизма южной части Дальнего Востока в позднем мезозое и кайнозое.— В сб.: «Геология и металлогения Советского сектора Тихоокеанского рудного пояса». М., 1963.
- Власов Г. М. История кайнозойского вулканизма тихоокеанских окраин СССР.— Труды XX сессии Междунар. геол. конгресса, т. 2. Мехико, 1957.
- Власов Г. М. Высокие поверхности выравнивания Камчатки и Курильских островов.— Геоморфол. сборник ВСЕГЕИ, 1958а, № 2.
- Власов Г. М. Основные черты геоморфологии Камчатки.— Труды I пленума Межведомств. геоморфол. комиссии, 1958б.
- Власов Г. М. Обзор стратиграфии третичных образований Сихотэ-Алиня, Сахалина, Камчатки и Курильских островов.— Труды совещания по стратиграфии Северо-Востока СССР. Магадан, 1959.
- Власов Г. М. Особенности кратерно-озерных отложений.— БМОИП, отд. геологии, 1960, т. XXXV (6).
- Власов Г. М. История геологического развития Приохотских геосинклиналей.— Материалы Совещания по разработке унифицированных схем Сахалина, Камчатки, Курильских и Командорских островов. М., 1961.
- Власов Г. М. Задачи палеовулканологических исследований на Дальнем Востоке.— Труды Лабор. палеовулканологии, вып. 1. Алма-Ата, 1963а.
- Власов Г. М. Рудные формации вулканических зон Тихоокеанского побережья.— Труды Лабор. палеовулканологии, вып. 2. Алма-Ата, 1963б.
- Габриелян А. А. Связь эффузивного вулканизма с тектоникой.— В сб.: «Вопросы вулканизма», Изд-во АН СССР, 1962.
- Горшков Г. С. О глубине магматического очага Ключевского вулкана.— Докл. АН СССР, 1956, т. 106, № 4.
- Изох Э. П. Магматизм Северного Сихотэ-Алиня и прилегающих районов левобережья р. Амура. В кн.: «Геология СССР», т. XIX, 1966.
- Костюк В. П. Очерк мезо-кайнозойской магматической деятельности в Советских Карпатах.— В сб. «Вопросы вулканизма», Изд-во АН СССР, 1962.
- Коптев-Дворников В. С. История вулканизма Центрального Казахстана в палеозое.— Материалы по геологии Центрального Казахстана, 1940.
- Кузнецов Ю. А. Условия образования главных типов магматических формаций подвижных зон.— Геология и геофизика, 1962, № 10.
- Кузина И. Н. Стратиграфия неогеновых отложений Сахалина.— Материалы Совещания по разработке унифицированных схем Сахалина, Камчатки, Курильских островов и Командорских островов. М., 1961.
- Кигаи В. А. Магматизм Тетюхинского района (Южное Приморье) и закономерности развития некоторых вулcano-плутонических формаций.— Автореф. канд. дисс., М., 1963.
- Лебедева Н. А. Геоморфология, неогеново-четвертичные отложения и неотектоника западной части Южного Приморья (Приханкайский район).— Труды Комиссии по изуч. четверт. периода АН СССР, 1957, вып. 13.
- Лунсгерсгаузен Г. Ф. Периодичность геологических процессов.— В сб.: «Четвертое совещание по проблемам астрогеологии», 1962.
- Луцицкий И. В. Основные задачи палеовулканологии и проблема вулканогенных формаций.— Труды Лабор. палеовулканологии, вып. 2. Алма-Ата, 1963.
- Мархинин Е. К. Об одной важной стороне проблемы кальдер.— В сб.: «Проблемы вулканизма», Изд-во АН СССР, 1962.
- Мещеряков Ю. А., Горелов С. К. Второй Пленум Межведомственной геоморфологической комиссии при ОГГН АН СССР, посвященный проблеме поверхностей выравнивания.— Изв. АН СССР, серия геогр., 1963, № 1.
- Паффенгольц К. Н. К вопросу о возрасте и генезисе туфолов Армении.— Зап. Всерос. минерал. об-ва, 1938, т. 67, № 3.
- Паффенгольц К. Н. Вулканические циклы Кавказа.— В сб.: «Вопросы вулканизма», Изд-во АН СССР, 1962.

- Пейве А. В., Сеницын В. М. Некоторые основные вопросы учения о геосинклиналях.—Изв. АН СССР, серия геол., 1950, № 4.
- Плешаков И. Б. Альпийская складчатость в Сахалино-Камчатской области.— Сов. геология, 1938, № 6.
- Пронин А. А. О связи тектоники и магматических процессов в геологической истории Урала.— В сб.: «Магматизм, метаморфизм и металлогения Урала». Труды Первого Уральск. петрогр. совещания, т. I. Свердловск, 1963.
- Радкевич Е. А. Проблема Тихоокеанского рудного пояса и задачи дальнейших работ.— В сб. «Геология и металлогения Советского сектора Тихоокеанского рудного пояса». М., 1963.
- Ратновский И. И. Стратиграфия палеогена Сахалина.— Материалы Совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем Сахалина, Камчатки и Командорских островов. М., 1961.
- Ривош Л. А., Штейнберг Г. С. Геофизическое изучение Камчатских вулканов.— Геология и геофизика, 1963, № 6.
- Ротман В. К. История вулканизма Центральной Камчатки в позднемиоценовое и кайнозойское время.— Автореф. канд. дисс. Л., 1963.
- Сальников Б. А. Детальная стратиграфия третичных угленосных отложений Сахалина.— Материалы Совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем Сахалина, Камчатки, Курильских и Командорских островов. М., 1961.
- Сахно В. Г. Некоторые особенности мезозойского вулканизма в различных структурно-фациальных зонах юга Дальнего Востока.— В сб.: «Геология и металлогения Советского сектора Тихоокеанского рудного пояса». М., 1963.
- Святловский А. Е. Вулканизм, тектоника и проблема актуализма.— В сб.: «Вопросы вулканизма», Изд-во АН СССР, 1962.
- Соболев И. Д. Тектоника и вулканизм Урала.— В сб.: «Магматизм, метаморфизм и металлогения Урала». Труды Первого Уральск. петрогр. совещания, т. I. Свердловск, 1963.
- Соболев В. С., Костюк В. П., Бобриевич А. П., Горбачевская О. Н., Спитковская С. М., Фишкин М. Ю. Петрография неогеновых вулканических и гипабиссальных пород Советских Карпат. Киев, 1955.
- Сперанская И. М. К вопросу о стратиграфическом расчленении меловых вулканических формаций юго-западной части Охотско-Чукотского пояса.— Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР, 1963, № 16.
- Титов В. А. Верхнемезозойский вулканизм Охотского склона.— Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР, 1945, № 1.
- Устиев Е. К. Магматизм Охотского пояса.— В сб.: «Геология и металлогения Советского сектора Тихоокеанского рудного пояса». М., 1963.
- Фаворская М. А. Верхнемеловой и кайнозойский магматизм восточного склона Сихотэ-Алиня.— Труды ИГЕМ, 1956, вып. 7.
- Федчин Ф. Г. Особенности структуры, магматизма и оловоносности Хингано-Олонойского прогиба.— Автореф. канд. дисс. Владивосток, 1963.
- Фрейд Г. М. Фациальная изменчивость вулканогенных формаций и проблема цикличности.— Труды Лабор. палеовулканологии, вып. 2. Алма-Ата, 1963.
- Чемков Ю. Ф. Древние поверхности выравнивания в южной половине Советского Дальнего Востока.— Труды ВСЕГЕИ, Материалы по геоморфологии, 1953.
- Штейнберг Д. С. Основные проблемы магматизма и метаморфизма Урала.— В сб.: «Магматизм, метаморфизм и металлогения Урала». Труды Первого Уральск. петрогр. совещания т. I. Свердловск, 1963.
- Ishimura T. Geological consideration of some basalt flows on the frontier district of N. Korea.— Proceedings of the Fifth Pacific Science Congress. Canada, 1933.