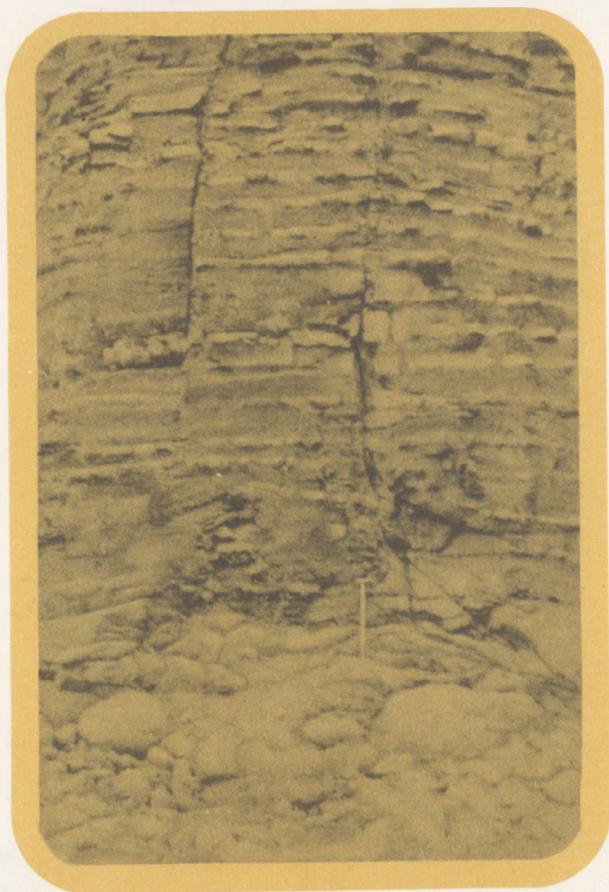


И.М.СИМАНОВИЧ, Д.И.КУДРЯВЦЕВ

ТЕКСТУРНЫЕ ТИПЫ ЭФФУЗИВНЫХ БАЗАЛЬТОВ ТУНГУССКОЙ СИНЕКЛИЗЫ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

И.М. СИМАНОВИЧ, Д.И. КУДРЯВЦЕВ

ТЕКСТУРНЫЕ ТИПЫ
ЭФФУЗИВНЫХ
БАЗАЛЬТОВ
ТУНГУССКОЙ
СИНЕКЛИЗЫ

Труды, вып. 362



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА

1981

Academy of Sciences of the USSR
Order of the Red Banner of Labour Geological Institute

I.M. Simanovich, D.I. Kudryavtsev

TEXTURAL TYPES OF EFFUSIVE BASALTS OF THE TUNGUSSKA SYNECLISE

Transactions, vol. 362

Симанович И.М., Кудрявцев Д.И. Текстуальные типы эффузивных базальтов Тунгусской синеклизы. М.: Наука, 1981 (Труды ГИН; Вып. 362).

Работа посвящена описанию текстурно-генетических типов эффузивных траппов Тунгусской синеклизы. Установлены следующие текстурные типы: массивные (долериты и анамезиты), "слоистые" или ламинарные базальты, мандельштейны и миндалекаменные базальты, шаровые и глыбовые лавы, шаровая отдельность. В зональных потоках базальтов проявлены закономерные фациальные сочетания перечисленных типов. Все разнообразие текстур тунгусских базальтов обусловлено двумя факторами: вязкостью лавы, увеличивающейся по мере удаления от очага извержения, и степенью обводненности субстрата, по которому двигался поток лавы. Сделан вывод, что текстурные типы и их фациальные сочетания в значительной мере определяются палеогеографическими и палеоклиматическими условиями излияния базальтов.

Табл. 2, ил. 15 + 12 фототабл., библи.: с. 50 (38 назв.).

Редакционная коллегия:

академик *А.В. Пейве* (главный редактор),
В.А. Крашенинников, В.Г. Гербова, П.П. Тимофеев

Ответственный редактор

А.Г. Коссовская

Editorial Board:

Academician *A. V. Peive* (Editor-in-chief),
V. A. Krashenninikov, V. G. Gerbova, P. P. Timofeev

Responsible editor

A. G. Kossovskaya

ВВЕДЕНИЕ

Фашиальный анализ древних вулканогенных толщ является одной из основных задач палеовулканологии [Лучицкий, 1971]. В основу выделения фаший, или генетических типов вулканогенных пород, положен принцип глубинности их формирования [Кузнецов, 1960; и др.]. И.В.Лучицкий [1971], например, разделил генетические типы вулканогенных образований на четыре группы: корневые, лавовые, пирокластические и метасоматические. Им выделяется также ряд вулканогенно-осадочных генетических типов. Е.Б.Яковлева [Коптев-Дворников и др., 1967] выделяет фашии: эффузивную (субфашии эксплозивная и текучих лав), субвулканическую (лакколиты, силлы, дайки) и жерловую (некки простого и сложного строения). Более дробная, выдержанная на едином принципе классификация интересующих нас эффузивных (лавовых) образований отсутствует. И.В.Лучицкий считает, что "... общее разделение лавовой группы генетических типов возможно на основании их происхождения (морского или континентального, подводного или субаэрального), а также по данным о типе лав (глыбовые, шаровые и т.п.) и их составе (базальтовые, андезитовые и т.д.) ..." [1971, т. 2, с. 124].

Нетрудно заметить, что палеовулканологами фашиальный анализ используется прежде всего как метод для восстановления типа и характера древнего вулканизма и в гораздо меньшей мере — для определения палеоландшафтной и палеоклиматической обстановки накопления вулканогенных продуктов. Так, для эффузивных образований задача обычно сводится лишь к различению континентальных (неоднородных, со шлаковыми образованиями и признаками выветривания в кровле) и подводных (шаровых) лав.

Задача палеогеографической реконструкции условий накопления лавовых толщ не акцентировалась, очевидно, потому, что эффузивы, как правило, переслаиваются с осадочными и вулканогенно-осадочными образованиями, являющимися, безусловно, более надежными и чувствительными реперами древней среды осадконакопления.

В последнее десятилетие для геологов стала доступной самая обширная вулканическая провинция на Земле — дно океана, сложенное, как известно, под маломощным чехлом осадков базальтами. Достаточно обширные сведения о текстурно-структурных различиях глубоководных базальтов и о характере сочетания этих текстурно-структурных типов в частных разрезах по скважинам накоплены главным образом по результатам бурения на дне океанов по Международному проекту глубоководного бурения с бурового судна "Гломар Челленджер". Однако эта информация, к сожалению, практически не используется из-за отсутствия метода палеофашиального анализа обширных площадных лавовых образований в целях восстановления палеогеографической обстановки их накопления. Необходимость такого метода диктуется прежде всего тем, что в океанических базальтах, как правило, отсутствуют прослой осадочных и вулканогенно-осадочных пород.

Важность разработки этого метода и являлась одним из основных стимулов при проведении настоящего исследования. Однако на первых порах мы ставили перед собой более скромную задачу: на примере эффузивных траппов Тунгусской синеклизы, которые в известной мере можно рассматривать как модель обширных площадных излияний на дне океана, разобраться в связи достаточно разнообразных текстурных типов базальтов с палеоландшафтной средой их накопления. Сравнивая базальты океанов и платобазальты континентов, мы имеем в виду их петрохимическую близость (толеитовый тип), обширность площадей излияния и слабую связь с центрами извержений. Очень жидкие базальтовые лавы преимущественно в результате трещинных извержений разливались на огромных площадях континентов и океанического дна, и характер их застывания, несомненно,

должен в значительной мере контролироваться палеогеографической средой и прежде всего — взаимодействием с поверхностными водами.

Следует отметить, что для некоторых текстурных типов платобазальтов давно известна связь с условиями их застывания. Так, например, шаровые лавы обычно связывают с подводными излияниями [Гилярова, 1959; и др.], "отдушины" и газовые трубки объясняют взаимодействием подошвы раскаленного лавового потока с поверхностными водами [Уотерс, 1963]. Подробно эти типы будут рассмотрены в соответствующих разделах. Здесь важно лишь отметить, что для эффузивных траппов Тунгусской синеклизы нам удалось установить общую взаимосвязь текстурных типов базальтов между собой, а также с характером палеосреды накопления базальтов и прежде всего — со степенью обводненности палеоландшафта. Вместе с тем многие детали генезиса тех или иных текстурных типов остаются пока неясными. Взаимодействие лавы с водой — чрезвычайно сложный процесс, и далеко не все его следствия можно понять путем умозаключений и физико-химических аналогий. Мы старались, насколько возможно, применять эмпирический метод исследований, пытаясь установить связь менее понятных проявлений с более очевидными.

Итак, основной идеей и основным выводом настоящего исследования является обусловленность текстурного разнообразия эффузивных траппов характером обводненности палеоландшафта. Совершенно очевидно, что на формирование различных текстурных типов базальтов сильно влияют и другие причины, прежде всего мощность потока, динамика его движения и удаленность от центра излияния. Последняя определяет температуру и вязкость лавы к моменту остановки потока.

Другим важным аспектом затронутой проблемы является определяющее влияние текстурно-структурного строения базальтов на ход и интенсивность их вторичных изменений. Ниже будет показано, что формирование в базальтах участков разнообразных текстурных типов обуславливает их резко различную пористость и проницаемость. Зоны повышенной проницаемости были путями проникновения растворов, а различные полости (миндалины, межшаровые пространства и т.д.) служили кристаллизаторами цеолитов, кальцита, глинистых и других минералов.

Фактическим материалом для исследования послужили результаты полевых сезонов 1976—1978 гг., в ходе которых были детально изучены береговые обнажения по рекам Тембенчи, Кочечумо и Нижней Тунгуске. Кроме авторов, в работе принимал участие (в 1976 г.) студент-дипломник МГУ С.Г.Сколотнев.

**ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И СТРАТИГРАФИЯ ЭФФУЗИВНЫХ
БАЗАЛЬТОВ ТУНГУССКОЙ СИНЕКЛИЗЫ**

Трапповая формация Сибирской платформы занимает гигантскую площадь — $6,75 \times 10^5 \text{ км}^2$, распространяясь от р. Ангары на юге до р. Пясины на севере и от Енисея до среднего течения Вилюя. От прочих трапповых формаций мира она отличается большой мощностью туфовых отложений. В результате эксплозивной деятельности накопилось $165 \times 10^2 \text{ км}^3$ вулканокластических и вулканогенно-осадочных отложений. По площади наиболее распространен интрузивный комплекс трапповой формации. Интрузивные траппы широким поясом обрамляют Тунгусскую синеклизу — структуру, заполненную туфовыми и лавовыми толщами. Практически по всей площади Тунгусской синеклизы распространены отложения туфовой толщи, сформированные в эксплозивный этап развития трапповой формации.

Лавовая толща, образование которой последовало вслед за эксплозивным этапом, располагается только в центральной части Тунгусской синеклизы, в пределах наиболее глубоко прогнутых структур второго порядка. Здесь, в пределах Центрально-Тунгусской и Сыверминской впадин, покровные базальты лавовой толщи являются господствующим типом пород. Неоднородность лавовой толщи при практически горизонтальном залегании и различной устойчивости к выветриванию служит главным фактором рельефообразования в пределах бассейнов рек Виви, Эмбенчиче, Тембенчи, Кочечумо — правых притоков р. Нижней Тунгуски, а также на грандиозном лавовом плато Путорана. Площадь, на которой распространены лавовый комплекс трапповой формации, составляет $34 \times 10^4 \text{ км}^2$, мощность лавовой толщи достигает 2000 м в центральных частях плато Путорана, уменьшаясь к южной окраине лавового поля до 200–300 м.

Заложение глубоких впадин, в пределах которых распространен лавовый комплекс трапповой формации, произошло на границе карбона и перми в результате дифференцированного прогибания Тунгусской синеклизы. В пермское время накопилась угленосно-терригенная формация. К началу перми относятся и первые проявления трапповой деятельности. В бассейне р. Котуй описаны отложения нижней и верхней перми, содержащие обломки траппов и маломощные туфовые отложения [Гор, Иванов, 1959]. К концу перми происходит общая инверсия тектонических движений, начинается активная эксплозивная деятельность и накапливаются мощные отложения туфовой толщи трапповой формации. Параллельно с образованием туфовой толщи происходило внедрение большого числа трапповых интрузий по всей площади Тунгусской синеклизы и ее обрамления.

Вулканокластические и вулканогенно-осадочные отложения в Центрально-Тунгусской впадине подразделяются на три стратиграфические единицы: верхнедегелинскую подсвиту мощностью 10–25 м, тутончанскую свиту мощностью 20–100 м и корвунчанскую свиту мощностью до 500 м [Боручинкина и др., 1974]. В результате накопления этой толщи и общего воздымания структуры морские и прибрежно-морские условия осадконакопления сменялись континентальными, о чем свидетельствуют специфические литологические особенности пород корвунчанской свиты [Хоменко, Попелуха, 1974], палеонтологические данные [Благовещенская, 1966] и общее строение разреза — присутствие внутрiformационных размывов, стратиграфическое несогласие отдельных слоев, резкая фациальная изменчивость вулканогенно-осадочных отложений [Боручинкина и др., 1974].

Таким образом, образование лавовой толщи трапповой формации началось в континентальных условиях, которые сохранялись, по-видимому, до конца ее формирования, так как редкие прослои вулканогенно-осадочных пород, встречающиеся в лавовой толще, содержат в себе только озерную фауну и континентальный спорово-пыльцевой комплекс. Формирование трапповой формации в основном завершилось в позднем триасе. В результате регионального воздымания лавовая толща была практически выведена выше уровня эрозии. Неотектонические движения также имеют в основном восходящий характер, особенно развиты они на молодом лавовом плато Путорана.

Исследование трапповой формации Сибирской платформы планомерно ведется с начала 30-х годов. Основным направлением геологических работ был поиск месторождений полезных ископаемых, в связи с чем проводилось подробное изучение интрузивного комплекса. Известны работы В.С.Соболева [1936], С.В.Обручева [1932] и многих других, посвященные этой теме. Изучение лавового комплекса обычно проводилось попутно и не было главной целью исследований. В связи с поисками месторождений исландского шпата, приуроченных к краевой части лавового поля, лавовая толща подробно исследовалась в среднем течении р. Нижней Тунгуски. В результате этих работ собран материал, наиболее полно отражающий строение лавовых потоков, слагающих низы нидымской свиты. Значительный вклад в изучение геологического строения района внесли геологи Всесоюзного научно-производственного объединения "Аэрогеология". Ими разработана стратиграфическая схема нижне- и среднетриасовых вулканогенно-осадочных отложений, которой мы пользуемся в данной работе.

Как указывалось, формирование лавовой толщи произошло на третьем этапе развития трапповой формации, после формирования интрузивного и туфового комплексов. Подробно история формирования трапповой формации освещена в работах С.В.Обручева [1932], Л.М.Лурье [1956] и др.; мы же остановимся на закономерностях формирования лавовой толщи. Излияние на поверхность земли огромного количества базальтовых лав происходило в течение довольно длительного периода — на протяжении всего раннего и, возможно, среднего триаса, т.е. на протяжении 25–30 млн. лет. В течение этого времени накопилась лавовая толща мощностью около 1500 м. Исходя из этих данных можно предположить, что в среднем 100 м мощности лавовой толщи накапливались в течение 10 млн. лет, т.е. крупные извержения происходили примерно в том же темпе, что и теперь в областях современного траппового вулканизма (Исландия).

Лавовые извержения в большинстве были трещинными, о чем свидетельствуют очень малое количество прослоев туфов среди лав, большая площадь, занимаемая отдельными покровами, большая мощность покровов, выдержанность углов падения кровель потоков по площади.

Стратиграфическая схема, разработанная М.А.Боручинкиной и др. [1974], основана на разделении этапов эксплозивной и эффузивной деятельности. Возраст пород, слагающих лавовую толщу, определяется как нижне- и, возможно, среднетриасовый.

Нижнетриасовые отложения подразделяются на две свиты — нидымскую и кочечумскую. Нидымская свита делится на две подсвиты.

Нижненидымская подсвита сложена покровами и потоками массивных и миндалекаменных базальтов мощностью от 15–20 до 30–40 м. Широко распространены линзы шаровых лав, приуроченные к подошвам базальтовых потоков. В нижненидымской подсвите очень широко распространены мандельштейновые зоны, связанные с подошвенной частью потоков и имеющие более сложные пространственные соотношения со столбчатыми базальтами. Изредка встречаются маломощные прослои вулканокластических пород.

В основании верхненидымской подсвиты залегают пачки вулканогенно-осадочных пород и пепловых, реже — разнообломочных туфов мощностью 10–20, редко 80 м. Верхняя часть подсвиты сложена потоками и покровами долеритов и миндалекаменных базальтов. Изредка встречаются линзы шаровых лав и мандельштейновые зоны.

В вулканогенно-осадочных отложениях нидымской свиты встречаются континентально-озерная фауна, остатки хвойных растений. Мощность нидымской свиты 150–200 м.

Кочечумская свита также подразделяется на две подсвиты.

Нижнекочечумская подсвита сложена бурыми, серо-зелеными плитчатыми вулканомиктовыми песчаниками и алевролитами и подчиненными прослоями туфовых разностей. Мощность подсвиты невелика — 10–25 м, хотя иногда наблюдаются раздувы мощности до 60–80 м.

Верхнекочечумская подсвита сложена покровами и потоками базальтов с пойкилоофитовой и интерсертальной структурой. Линзы шаровых лав и приподошвенные зоны мандельштейнов встречаются здесь редко, прикровлевые зоны мандельштейнов остаются четко выраженными. Вулканомиктовые породы встречаются очень редко в виде мелких линз. Мощность кочечумской свиты составляет 250–300 м.

К среднему триасу условно относятся вулканогенные породы ямбуканской свиты, разделяющейся на две подсвиты.

Нижнеямбуканская подсвета сложена плитчатыми алевропсаммитами, встречаются туффиты и туфопесчаники с отпечатками флоры хвойных и папоротников. Мощность подсветы 10–30 м.

Верхнеямбуканская подсвета сложена потоками и покровами плагиофировых базальтов с микродолеритовой и гиалопелитовой структурой, мандельштейны и миндалекаменные базальты практически не встречаются. Туфы и туффиты присутствуют в виде мелких и редких линз. Мощность ямбуканской свиты 200–220 м.

Как видно из приведенной стратиграфической схемы, накопление лавовой толщи происходило поэтапно. Периоды массовых излияний базальтовых лав сменялись непродолжительными периодами эксплозивной деятельности, в течение которых накапливались маломощные прослои туфов и туффитов. Кроме того, в разрезе лавовой толщи наблюдается изменение зернистости базальтов от крупнозернистых долеритов, преобладающих в низах нидымской свиты, через среднезернистые толеиты и диабазы, характерные для кочучумской свиты, до анамезитов, слагающих значительную часть ямбуканской свиты. По мнению Е.М.Крестина [1968], такое распределение петрографических типов базальтов связано с изменением газонасыщенности лав. Он пишет: "Наличие мощных миндалекаменных зон, широкое развитие вторичных минералов, высокая степень окисленности железа – признаки, свидетельствующие о высокой газонасыщенности лавы, – наиболее развиты в низах разреза и постепенно убывают в кочучумской и ямбуканской свитах" [Крестин, 1968, с. 101]. Кроме того, Е.М.Крестин указывает на пульсационный характер вулканической деятельности. Излияния часто перемежаются с эксплозивными выбросами, при которых газонасыщенность лавы резко повышалась. Таким образом, по мнению Е.М.Крестина, на протяжении формирования лавовой толщи наблюдалось постепенное снижение содержания летучих в лавах, на фоне которого заметны резкие всплески, приуроченные к эксплозивным извержениям.

Ю.И.Дмитриев, изучавший вулканогенные образования бассейна р. Тембенчи, выделил в пределах лавовой толщи семь вулканических ритмов с мощностью 112, 75, 95, 105, 180, 110 и более 60 м. Эта ритмичность выражена чередованием пачек мелко- и среднезернистых базальтов и покровов анамезитов; нередко такие ритмы подстилаются пластами пепловых туфов мощностью до 8–12 м. Нижняя пачка ритма чаще всего состоит из пяти-шести покровов довольно хорошо раскристаллизованного базальта с развитыми зонами прикровлевых мандельштейнов и столбчатой отдельностью сечением 1,5–2 м. Верхняя часть ритма чаще всего представлена одним мощным покровом порфировых трахитоидных анамезитов со слабо развитой мандельштейновой зоной и столбчатой отдельностью сечением не более 0,8 м. Шаровые лавы и покровы с полосчатой текстурой встречаются только в нидымской свите. Причину такого периодического изменения состава базальтов Ю.И.Дмитриев [1973] связывает с колебаниями насыщенности лавы летучими (в основном водой).

Строение потоков и покровов базальтов в пределах изучаемой территории весьма многообразно. Здесь встречаются потоки самой различной мощности и протяженности. Наиболее крупные из них прослеживаются на расстоянии до 90 км, причем угол падения кровли такого погоя составляет 1°12' [Дмитриев, 1973]. Таким образом, покровы лавовой толщи залегают практически горизонтально, обтекая неровности подстилающего их палеорельефа.

Мощность потоков обычно выдержана по площади. По нашим наблюдениям, для потоков горошистых долеритов характерна мощность до 40–50 м, для анамезитов – 15–30 м. В краевых частях потоков, наблюдавшихся нами по рекам Поледжикит и Гончак, мощность потоков несколько снижается и строение лавового тела осложняется присутствием глыбовых лав, приводящих к формированию неровной кровли потоков. Наиболее подробно строение погояков в этом районе описано в работах К.К.Атабаева и Л.А.Маркиной [1972], а также А.А.Агеева, Ф.А.Кувчинчиковой и др. В центральных частях лавового поля погояки имеют обычно зональное строение. Как правило, в строении одного потока участвует несколько текстурных типов базальтов. Это массивные и "слоистые" долериты пойкилоофитовой структуры, миндалекаменные базальты, мандельштейны, шаровые лавы. Подробно текстурные типы базальтов описаны в следующих главах.

Несмотря на разнообразие текстурных типов базальтов, химический и петрографический состав эффузивных базальтов довольно однообразен (табл. 1). Химический состав эффузивных базальтов, приведенный в табл. 1, характеризуется удивительным постоянством. Главные различия между анализами состоят в

Таблица 1

Химические анализы эффузивных базальтов Тунгусской синеклизы (вес. %)

Компоненты	Номер образца							
	12-76	22-76	37-76	94-76	126-76	128-76	132-76	163-76
SiO ₂	49,36	49,44	47,85	47,03	47,01	45,76	46,12	48,50
TiO ₂	1,36	1,33	1,41	1,27	1,25	1,20	1,27	1,25
Al ₂ O ₃	14,36	14,70	14,65	14,48	14,56	14,79	14,48	14,61
Fe ₂ O ₃	2,65	3,77	6,57	5,93	7,13	6,80	6,74	5,13
FeO	9,94	8,28	5,76	6,05	5,69	4,82	6,26	7,06
MnO	0,14	0,18	0,20	0,15	0,15	0,18	0,17	0,18
MgO	6,69	6,61	6,61	7,04	6,66	6,05	6,21	6,61
CaO	10,98	11,09	10,30	9,64	10,45	11,87	10,08	10,32
Na ₂ O	2,22	2,08	1,79	2,00	1,98	1,72	2,04	2,22
K ₂ O	0,44	0,26	0,30	0,26	0,22	0,22	0,30	0,34
H ₂ O	0,95	1,28	2,38	2,84	1,52	2,84	2,24	1,50
П.п.п.	0,07	1,14	2,28	2,82	2,72	3,84	3,66	1,92
P ₂ O ₅	0,15	0,16	0,15	0,12	0,12	0,12	0,12	0,14
S _{общ}	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03
Сумма	99,33	100,36	100,27	99,67	99,57	100,23	99,71	99,81

изменении соотношений Fe₂O₃/FeO, содержания Ca и воды. Все эти колебания связаны, по-видимому, с различной степенью вторичных преобразований разных структурно-текстурных типов базальтов.

Вопросам петрохимии и петрографии базальтов посвящены специальные работы Е.М.Крестина [1968], Ю.И.Дмитриева [1973], А.П.Лебедева [1955], Е.И.Гуриновой [1960а,б] и др. Нам хотелось бы остановиться на описании наиболее характерных петрографических типов базальтов. Толеитовые базальты пойкилоофитовой структуры — это наиболее распространенный в нидымской свите тип базальтов. Макроскопически они представляют собой черные плотные породы, слагающие средние части погочов; базальты такого типа встречаются в центральных частях сфероидов шаровых лав, миндалекаменных зонах. Выветрелая поверхность таких базальтов обычно имеет бугорчатую, шероховатую (горошистую) поверхность вследствие высокой устойчивости к выветриванию пойкилокрстов пироксена.

Под микроскопом наблюдается пойкилоофитовая структура, характеризующаяся наличием крупных (1,5–2,5 мм) пойкилокрстов пироксена, погруженных в стекловатый мезостазис с мелкими лейстами плагиоклазов. Оливин, обычно нацело замещенный вторичными слоистыми силикатами, является примесью в данной породе. Плагиоклаз образует идиоморфные лейсты, большей частью свежие или незначительно корродированные смектитом. Состав плагиоклаза незначительно изменяется от центра к краю (№ 43–46 — край, № 52–70 — в ядре) [Лебедев, 1955]. Альбитизация плагиоклазов почти не встречается. Клинопироксен, слагающий пойкилокрсты, как правило, слабо зонален, изредка отмечается его волнистое угасание. Стекловатый мезостазис присутствует в большом количестве, но наблюдение его затруднено активным развитием вторичных глинистых минералов. В наиболее свежих участках это образование темно-коричневого или зеленовато-коричневого цвета, изотропное, насыщенное рудной пылью, иногда с игловатыми микролитами пироксена и титаномагнетита. Широко распространены вторичные глинистые минералы. Они развиваются в основном по стеклу, но в случае высокой проницаемости пород, например в миндалекаменных зонах, центральных частях сфероидов шаровых лав, возможно их развитие по пироксенам и плагиоклазам. Агрегаты глинистых минералов имеют весьма различный облик, разную окраску, окристаллизованность, показатели преломления, двупреломление, но с помощью физических методов исследования вся масса глинистых образований диагностируется лишь как минерал смектит нонтронит-сапонитового ряда.

Базальты интерсертальной структуры также широко распространены в составе пород лавовой толщи. Это плотная черная порода, слагающая глыбовые лавы, мандельштейны, периферические части сфероидов шаровых лав, корки закалки потоков. Структура пород интерсертальная, иногда близкая к микролитовой. Для нее характерно преобладание стекловатого мезостаза (или продуктов его изменения), в который погружены мелкие брусковидные или игольчатые лейсты плагиоклаза, клинопироксена, дендриты рудных минералов. Встречаются мелкие кристаллики оливина, как правило, нацело замещенные вторичными минералами. Плагиоклаз по составу представлен лабрадором № 50–53; иногда наблюдается его зональное строение. Клинопироксен встречается в виде игольчатых буроватых микролитов. Базис представляет собой сильно измененное буро-черное стекло, сильно насыщенное микролитами пироксенов и рудной пылью. Порода, как правило, насыщена минералами (до 40–60% объема), заполненными вторичными минералами (смектит, халцедон, кальцит, цеолиты). Вторичное минералообразование в базальтах интерсертальной структуры обычно очень активно вследствие высокой реакционной способности слабо раскристаллизованного стекла и высокой проницаемости породы. Первичный каркас породы без учета объема минералов бывает замещен вторичными смектитом, кальцитом, альбитом на 40–60%.

Довольно часто в той же геологической позиции, что и базальты интерсертальной структуры, встречаются базальты вариолитовой структуры. Нами они были встречены в мандельштейнах, стекловатых корках шаровых лав.

Различные петрографические типы базальтов в реальных геологических условиях связаны между собой постепенными переходами. Такая связь была описана Е.И. Гуриновой [1960б] на примере изучения зональности строения сфероидов шаровых лав. Она выделила четыре зоны внутри одного сфероида, где от периферии к центру постепенно происходила смена структуры базальтов от витрофириной через вариолитовую и интерсертальную до пойкилоофитовой. Таким образом, четко прослеживается взаимосвязь между структурой пород и их текстурными типами.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ТЕКСТУРЫ ЭФФУЗИВНЫХ БАЗАЛЬТОВ

Потоки (покровы) базальтов Тунгусской синеклизы, как правило, характеризуются крайне неоднородным строением, обусловленным сложным чередованием пород различных текстурных типов. Обычно центральные части потоков сложены массивными разностями (столбчатыми базальтами), верхние и нижние — более “рыхлыми” текстурными типами (шаровыми лавами, мандельштейнами и т.д.). Подробнее, на ряде конкретных примеров, пространственное взаимоотношение различных текстурных типов будет рассмотрено в следующей главе. Ниже описаны наиболее характерные и постоянно встречающиеся текстурные типы тунгусских базальтов.

БАЗАЛЬТЫ С ПРИЗМАТИЧЕСКОЙ (СТОЛБЧАТОЙ) ОТДЕЛЬНОСТЬЮ

Массивные базальты со столбчатой отдельностью слагают, как правило, значительную часть объема потоков и приурочены к их центральным частям.

Наиболее распространены грубостолбчатые долериты (табл. 1, 1). Они сложены средне-крупнозернистой породой с пойкилоофитовой или пойкилоофитово-интерсертальной структурой (табл. 1, 2), дающей на изломе характерную “горошистую” поверхность. Долериты являются самой крупнозернистой разностью тунгусских эффузивных базальтов и наиболее широко распространены. Благодаря достаточно высокой устойчивости к выветриванию и денудации они образуют уступы даже в сильно задернованных участках местности. Характерна также чрезвычайно высокая устойчивость структур и минералогии долеритов по всему разрезу эффузивных траппов и по площади.

Долериты образуют столбы с полигональными ограничениями диаметром 0,5–3, иногда до 5 м. Высота столбов достигает 20 м и более. Столбы на разных уровнях разбиты поперечными трещинами отдельности, создающими характерный ступенчатый рельеф. Конкретная форма тел, сложенных долеритами, зависит от их

сочетания с более "активными" текстурными типами, в частности с мандельштейнами. В верхних частях долеритовых тел, а также на контакте с мандельштейнами нередко происходит "завал" столбчатой отдельности и ее переход в неправильно блочную отдельность.

Менее распространены среднестолбчатые базальты с интерсертальной мелко-среднезернистой структурой. Они слагают верхние (реже — нижние) части мощных (30—60 м) потоков базальтов или же составляют основной объем относительно маломощных (5—15 м) потоков. Столбы, которыми сложены базальты, также имеют полигональные ограничения и разбиты поперечными трещинами отдельности, но диаметр их значительно меньше (0,2—1, обычно 0,3—0,5 м).

Анамезиты с мелко столбчатой отдельностью — чрезвычайно характерная разновидность тунгусских базальтов. Они сложены очень мелкозернистыми полнокристаллическими породами с интрагранулярной структурой (табл. 1, 3). Столбы имеют принципиально то же строение, что и в описанных выше разновидностях, но отличаются гораздо меньшим диаметром (0,1—0,3 м); для них очень характерны завалы, изгибы, веерообразные сочетания. Анамезиты необыкновенно устойчивы к разрушению и там, где их пересекают современные водотоки, как правило, образуют мощные пороги. Анамезиты обычно не ассоциируют с базальтами других текстурных типов; лишь иногда наблюдаются сложные сочетания с долеритами, а также шпиры и линзы мандельштейнов в анамезитах.

Отчетливо наблюдается взаимозависимость структур и текстур столбчатых базальтов: чем более мелкозерниста структура, тем меньше диаметр столбов. Следует подчеркнуть, что переходные разновидности между описанными типами столбчатых базальтов наблюдаются редко; они достаточно индивидуализированы как самостоятельные текстурные типы. Миндалекаменность для массивных базальтов, вообще говоря, не характерна. Скопление миндалинов иногда наблюдается в прикровельных частях потоков, сложенных долеритами и базальтами с интерсертальной структурой. В анамезитах наблюдаются очень редкие и мелкие (1—3 мм) поры, выполненные глинистым минералом. Локализация их в анамезитах беспорядочна. Обязательным текстурным элементом столбчатых долеритов являются газовые трубки, иногда прослеживающиеся почти через все долеритовое тело. Для среднестолбчатых базальтов газовые трубки менее характерны и могут отсутствовать. В анамезитах они встречаются редко.

"СЛОИСТЫЕ" ДОЛЕРИТЫ

"Слоистые" долериты являются чрезвычайно своеобразной разновидностью грубостолбчатых долеритов¹. Их характерный внешний облик хорошо виден на приводимых фотографиях (табл. II, 1,2). Они представлены чередованием менее плотных и более плотных "слоев". Мощности первых колеблются от 20 до 50 см, плотные "слои" менее мощные (5—15 см). Некоторые "слои" быстро выклиниваются, другие прослеживаются в обнажении на очень далекие расстояния. Плотные слои оказываются более устойчивыми к выветриванию и образуют рельефный рисунок на поверхности базальтовой скалы. Иногда "слоистость" выражена менее отчетливо, чем на приведенных фотографиях, и тогда замедна едва различимая гофрировка (ребристость) на поверхности скального выхода.

Как более плотные, так и менее плотные "слои" сложены долеритами с пойкилоофитовой структурой, совершенно не отличающимися друг от друга ни по зернистости, ни по набору первичных минералов, ни по степени их измененности. Их отличием служат мелкие (0,1—0,3 мм) поры в "рыхлых" долеритах, выполненные кальцитом. Они составляют не более 5% объема породы. В плотных "слоях" поры, выполненные кальцитом, совершенно отсутствуют, но зато встречаются в интерстициях участки стекла, не замещенного смектитом. Кальцит — поздний вторичный минерал базальтов. Следовательно, менее плотные слои отличаются не только пористостью, но и повышенной проницаемостью, что, очевидно, и обусловило их относительно быструю разрушаемость.

Плотные "слои" участвуют в создании различных текстурных рисунков, играя роль газопоров, и в различных комбинациях сочетаются с миндалекаменными базальтами. "Слоистые" базальты характерны только для нижних частей нидымской свиты (первые два покрова). Обычно "слоистость" развита в основании долеритовой составляющей потока и вверх по разрезу постепенно "рассасывается", что, впрочем, видно и на табл. II,2. В определенных условиях "слоистость" исчезает и по латерали.

¹ Упоминание о "слоистых" базальтах содержится в статье Ю.И.Дмитриева [1973].

Нижняя часть нидымской свиты лавового комплекса грапповой формации Тунгусской синеклизы характеризуется чрезвычайно интенсивным развитием зон мандельштейнов в потоках базальтов (до 30%) [Кресгин, 1968; и др.]. Считают, что зоны мандельштейнов в базальтах нидымской свиты приурочены к прикровлевым частям потоков, что связывают с дегазацией лавы и подъемом газовых пузырьков вверх [Лебедев, 1955; Дмитриев, 1973; Кресгин, 1968; и др.]. Отмечается также наличие маломощных зон мандельштейнов в основании потоков.

Наши наблюдения показывают, что соотношения миндалекаменных базальтов (мандельштейнов) с массивными разностями базальтов гораздо сложнее. Прежде всего следует отметить, что среди миндалекаменных базальтов можно выделить два типа, отличающихся по структурам, текстурам и насыщенности миндалинами. Эта особенность давно замечена геологами, изучающими сибирские граппы. Мелкозернистые, сильно насыщенные миндалинами породы принято называть мандельштейнами, а базальты, относительно слабо насыщенные миндалинами и сохраняющие присущие им текстуры и структуры, — миндалекаменными базальтами. Естественно, такая терминология не может быть признана удачной, так как мандельштейны и миндалекаменные породы — синонимы. Однако учитывая, что такое упреждение терминов прочно вошло в литературу, посвященную сибирским граппам, и что оно действительно отражает существование двух разновидностей миндалекаменных базальтов, за неимением лучших терминов мы применяем термин "мандельштейн" к породам, сильно насыщенным миндалинами и характеризующимся мелкозернистой структурой; миндалекаменными базальтами называем массивные базальты с присущими им текстурными и структурными признаками, в том числе и долериты, содержащие миндалины. Между этими крайними типами существуют постепенные переходы.

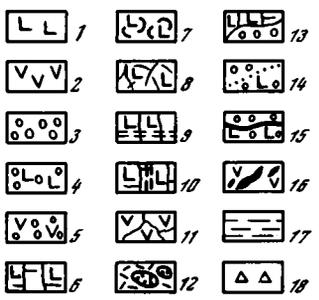
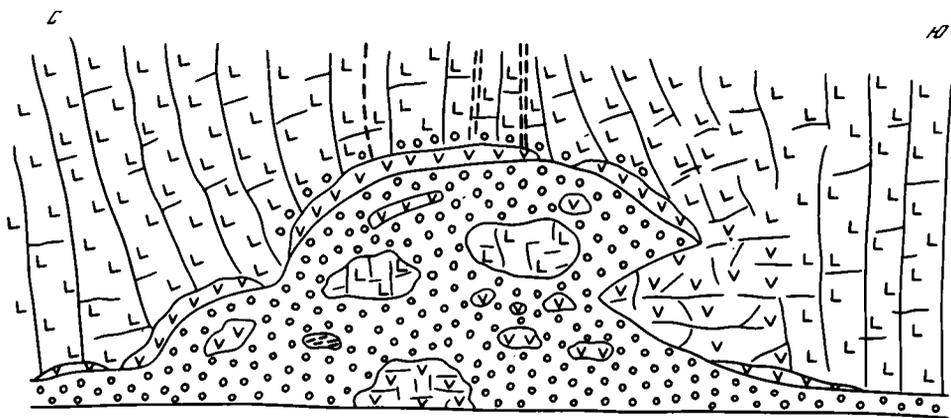
Наиболее типичные мандельштейны (табл. 1, 3) присутствуют в основании потоков, где они образуют многочисленные мандельштейновые "купола". Эти купола, или "вспучивания", описаны ранее А.П.Лебедевым [1955] в обнажениях на скалах по р. Нижней Тунгуске, ниже пос. Тура. А.П.Лебедев считал мандельштейны самостоятельными потоками и их "вдавливание" в вышележащий поток объяснял "влиянием напора скопившихся в нем газов (в случае, если нижний поток оставался еще горячим, в то время когда изливался верхний)" [1955, с. 29]. На скалах Сулова А.П.Лебедев наблюдал "... как бы втягивание мандельштейновых выступов поверхности нижележащего лавового потока в основание вышележащего лавового потока... Возможно, эти участки (выступы) захватывались верхним лавовым потоком и втягивались в направлении движения последнего" [Лебедев, 1955, с. 30].

Мы не можем согласиться с такой трактовкой соотношения мандельштейнов и вышележащих массивных базальтов. Во-первых, и "нижние" мандельштейны, и столбчатые долериты, и "верхние" мандельштейны принадлежат единому потоку, а не являются самостоятельными потоками, как считал А.П. Лебедев (к доказательству этого важнейшего положения мы вернемся позже, после изложения материала о взаимоотношении различных текстурных типов базальтов — глава третья). Во-вторых, форма мандельштейновых куполов настолько причудлива и они так глубоко вдаются в массивные базальты (иногда полностью "прорывают" их), что предложенный А.П. Лебедевым механизм вряд ли реализовался в природе, поэтому необходимо искать иные объяснения формирования мандельштейновых куполов.

Приведем описание типичного, сложно построенного мандельштейнового купола (скала на правом берегу р. Нижней Тунгуски в 15 км ниже пос. Тура, именуемая дальше как "скала 15-го километра").

Основная фоновая порода, слагающая купол (фиг. 1), — мандельштейн с комковатой отдельностью. Однако мандельштейны сильно различаются как по насыщенности миндалинами, так и по их минерализации в разных частях тела купола. Миндалины в нижней части купола заполнены главным образом смектитом (железистым сапонитом), в верхней части — цеолитами и кальцитом. В кровле купола — прерывистая корка закалывания мощностью до 30 см (черный мелкозернистый базальт). Миндалекаменность прослеживается и во вмещающих столбчатых базальтах и лишь постепенно загущается. Над кровлей купола присутствуют многочисленные газовые трубки. Долериты над куполом имеют искаженную столбчатую отдельность.

В мандельштейнах купола присутствуют блоки неминдалекаменного строения. Это, во-первых, два крупных блока долеритов с реликтовым столбчатым строе-



Фиг. 1. Мандельштейновый купол. Скала 15-го километра
Условные обозначения к фиг. 1-15

1 - долериты; 2 - мелкозернистые базальты; 3 - мандельштейны; 4 - миндалекаменные долериты; 5 - миндалекаменные мелкозернистые базальты; 6 - столбчатая отдельность; 7 - шаровая отдельность; 8 - неправильно призматическая отдельность; 9 - "слоистость" в долеритах; 10 - газовые трубки; 11 - глыбовая лава; 12 - шаровая лава с межшаровой дресвой; 13 - граница текстурных типов; 14 - граница текстурных типов условная (постепенный переход); 15 - граница потоков; 16 - минерализация; 17 - туфы; 18 - осыпи

нием; во-вторых, шаровидные, лепешковидные, или матрацевидные обособления черных мелкозернистых базальтов, причем "межшаровое вещество" представлено мандельштейнами или выполнено кальцитом и кремнями (табл. III, I); в-третьих, обломки черных мелкозернистых корок закалывания, ограничивающих купол, как бы погнувших в мандельштейнах.

О размере описанного купола можно судить по масштабной линейке на фиг. 1. Вообще говоря, контакт нижних мандельштейнов с вышележащими столбчатыми базальтами почти во всех случаях неровный, волнистый, с более или менее отчетливо выраженными куполообразными или грибообразными вздутиями. Нижние мандельштейны обладают характерной мелкозернистой ингерсергальной структурой основной массы (табл. III, 2), которая, как правило, сильно изменена вторичными процессами (сметгизация стекла, альбигизация микролигов плагиоклаза).

Строение миндалин свидетельствует о том, что они во время остывания попка были заполнены раскаленным газом, очевидно, в основном парами воды. Миндалины имеют округлые, часто изометричные формы при размерах от 1-2 мм до 2-3 см (в среднем 0,3-1 см). Они окружены оболочкой, имеющей более мелкозернистую структуру, чем основная масса мандельштейнов (табл. III, 3). Нередко структура этих оболочек переходная от ингерсергальной к вариолиговой, что свидетельствует об их относительно быстрой закалке. Оболочки пузырьков обычно сильнее насыщены дисперсными рудными минералами, чем основная масса. Толщина оболочек миндалин составляет 0,1-0,3 мм в основании мандельштейновых куполов, вверх по разрезу купола они постепенно утоняются и почти исчезают в его апикальной части.

Как уже упоминалось, существует представление, что мандельштейны, как правило, слагают верхние части потоков и реже - нижние [Кресгин, 1968; Дмитриев, 1973]. Нижние мандельштейны действительно закономерно располагаются в основании потоков базальтов. Верхние же мандельштейны совсем не обязательно локализованы в кровле потока. Они образуют линзы, сложные клиновидные и воронкообразные тела на различных уровнях потоков базальтов (табл. IV, 1, 2), в том числе (но не обязательно) и в прикровлевых их частях. В отличие от нижних мандельштейнов линзы и клинья этих пород, присутствующие на различных уровнях потоков, обычно не имеют четких границ (корок закалывания) с вмещающими массивными долеритами, нередко "растворяют" в себе блоки пород, имеющих столбчатое, но миндалекаменное строение. Миндалекаменность обычно лишь постепенно загущает в стороны от линз мандельштейнов.

Иногда миндалекаменность развита в массивных долеритах и базальтах вне связи с мандельштейнами. В этом случае массивные базальты характеризуются обычным столбчатым строением; в их массе неравномерно распределены миндалины, количество которых обычно резко возрастает к кровле потока. Насыщенная миндалекаменность таких прикровлевых участков обычно сопровождается субпараллельными трещинами отслоения, повторяющими контуры кровли потока и впоследствии выполненными вторичными минералами — кальцитом, кремнями, цеолитами.

Строение миндалин в долеритах и других типах массивных базальтов свидетельствует также, что они были в расплавленной лаве газовыми пузырями, выполненными главным образом парами воды. Иногда удается наблюдать следы движения таких пузырей вверх, через "кашу" уже выделившихся микролитов плагиоклаза. Последние оседают, располагаясь горизонтально, на верхней части пузырька и тянутся шлейфом за его тыловой частью. Интересно отметить, что в мандельштейнах такие соотношения не наблюдались, что свидетельствует об иной степени кристаллизации лавы к моменту остановки пузырьков.

Описанные способы локализации мандельштейнов и миндалекаменных базальтов не охватывают всей сложности их соотношений с массивными шаровыми лавами и с лавами с шаровой отдельностью. Эти соотношения, а также условия образования мандельштейнов и миндалекаменных лав мы постараемся осветить в следующих главах.

ШАРОВЫЕ ЛАВЫ

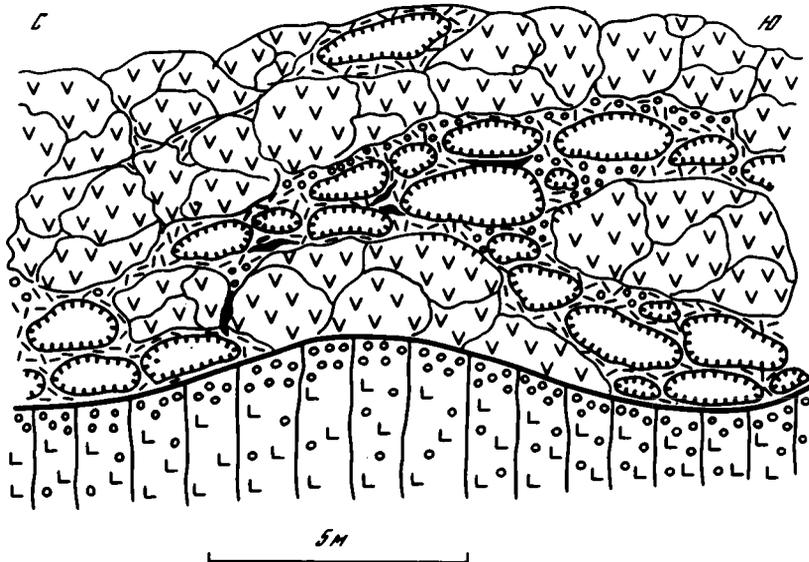
Из всех текстурных типов базальтов шаровые лавы привлекали наибольшее внимание исследователей. Их происхождением занимались и многие геологи, в частности А.Ригман [1964], М.А.Гилярова [1959], В.П.Петров и М.Г.Замураева [1960], И.В.Лучицкий [1971] и др. Морфология шаровых лав эффузивных граппов Тунгусской синеклизы рассмотрена в работах А.П.Лебедева [1955], В.И.Кудряшовой [1958], Е.И.Гуриновой [1960], Н.В.Агуреевой [1967].

Наиболее детально шаровые лавы тунгусских базальтов описаны Е.И.Гуриновой [1960а]: По ее наблюдениям шаровые лавы приурочены к основаниям покровов сравнительно большой (6–45 м) мощности. Они локализованы в пониженных участках на поверхности подстилающего потока или вулканогенного прослоя и могут отсутствовать, где подстилаящая поверхность ровная или выпуклая. Шаровые лавы образуют или короткие линзовидные тела длиной в несколько десятков метров, или выдержанные горизонты, прослеживающиеся на несколько десятков километров. Переход от шаровых лав к массивным базальтам постепенный и осуществляется обычно через зону мандельштейнов.

По данным Е.И.Гуриновой, шаровые лавы состоят из отдельных сфероидов (реже шаров) базальта размером 0,7–1 м по длинной оси. Центральные части сфероидов сложены базальтами толеитовой, реже — пойкилоофито-интерсергальной структуры; краевые части — мандельштейны с интерсергальной структурой. Иногда наблюдается тонкая (1–1,5 см) оболочка гиалобазальта витрофировой структуры.

В некоторых сфероидах Е.И.Гуринова выделяет четыре зоны с характерными структурами: витрофировой (внешняя), метельчатой, толеитовой, интерсергальной и пойкилоофитовой (внутренняя). В этих зонах наблюдаются плагиоклазы различного состава: в первой — An_{70} , во второй — An_{53-64} , в третьей — An_{64-78} ; в четвертой — микролиты, заключенные в крупных выделениях пироксена, имеют состав An_{56-64} , а крупные выделения в мезостазисе — An_{62-86} . Характерно радиальное расположение трещин отдельности. Сфероиды или плотно прилегают друг к другу, или разделяются рыхлым мелкообломочным материалом, который, как считает Е.И.Гуринова, образовался за счет разрушения стекловатых оболочек сфероидов. Обломки размером до 1,5 см сцементированы гидротермальными минералами (главным образом цеолитами и кальцитом).

Наши наблюдения в общих чертах подтверждают данные Е.И.Гуриновой и других исследователей. Шаровые лавы изучены нами в обнажениях по р. Нижней Тунгуске на протяжении 80 км вниз от пос. Тура и в низовьях ее левых притоков (рек Гончак, Поледжикит), а также в низовьях р. Тембенчи. Следует подчеркнуть, что в более северных районах (среднее и верхнее течение рек Тембенчи и Виви) шаровые лавы, по-видимому, отсутствуют. Наиболее типичные шаровые лавы наблюдались нами на скалах Сулова в основании лавового комплекса, непосредственно подстилаемого здесь туфами корвунчанской свиты, а также на



Фиг. 2. Соотношения шаровых и глыбовых лав; р. Тембенчи, в 5 км от ее устья
Условные обозначения см. на фиг. 1

более высоких уровнях нидымской свиты — в низовьях рек Поледжикит и Гончак.

На западном окончании скал Сулова шаровые лавы непосредственно залегают на мелкозернистых туфах со скорлуповой отдельностью. "Шары" — матрацевидные тела размером 0,2–1,5 м (по длинной стороне) с четкой зональностью: внутренняя зона — плотный мелкозернистый базальт, внешняя — миндалекаменный базальт афанитового сложения. Наблюдаются радиальные трещины отдельности (табл. IV, 3). Межшаровое вещество, составляющее ~ 20–30% объема линзы шаровых лав, представлено черным рыхлым гиалокластитом, пропитанным вторичными минералами (кальцитом, халцедоном, цеолитами). Линза шаровых лав прослеживается в обнажении на расстоянии ~ 0,5 км, ее мощность 1,5–3 м. Вверх по разрезу шаровые лавы постепенно переходят в мандельштейны, причем шары как бы растворяются в массе мандельштейнов; столь же постепенно переходит в мандельштейн межшаровой гиалокластит. Над шаровыми лавами залегают мандельштейны мощностью около 3 м, однако, как уже отмечалось, кровля их крайне неровная: они образуют купола, "грибы", глубоко вдаются в вышележащие столбчатые базальты (табл. V, 1). В прикровлевых частях мандельштейнов наблюдаются отторженцы от подошвы массивной части потока базальтов, как бы потонувшие в мандельштейнах, не имеющие, однако, шарового строения (табл. V, 2). Зато для них чрезвычайно характерна шаровая отдельность (см. ниже).

Шаровые лавы средней части нижней подсвиты нидымской свиты описаны на примере обнажения на правом берегу р. Гончак, в 10 км от ее устья. Здесь шаровые лавы образуют линзу в основании верхнего, вскрытого в обнажении потока (табл. V, 3). Протяженность ее 300–400 м, мощность от 5 м (в раздувах) до нуля. Упаковка шаров достаточно плотная, межшаровые пространства выполнены гиалокластитом и вторичными минералами. Шары по строению такие же, как в приведенном выше описании.

На левом берегу р. Тембенчи, в 5 км от ее устья (см. фиг. 12) вскрыты три потока базальтов, причем в основании северной части обнажения — поток (5–15 м), сложенный шаровыми лавами. Они представлены довольно крупными (до 1,5–2 м) шарами (точнее округлыми телами матрацевидной, эллипсоидальной формы), которые вверх по разрезу становятся мельче. Хорошо выражены внешние зоны шаров — корки закалики миндалекаменного строения. В них часто наблюдаются газовые трубки, ориентированные не по радиусу шарового тела, а всегда вертикально. Межшаровые пространства (~ 20% объема шаровых лав) выполнены гиалокластитом и обильными выделениями вторичных минералов, главным образом халцедона и кальцита.

В южной части обнажения шаровое строение выражено гораздо хуже, чем в северной. Участками шаровые лавы здесь представлены не обычным сочетанием

матрацевидных или шароподобных тел с межшаровой дресвой, а скорее комбинацией блоков неправильной формы, имеющих, однако, характерные миндалекаменные корки закалики и обнаруживающие постепенные переходы в обычные шаровые лавы (табл. VI, 1). На фиг. 2 показано сложное сочетание шаровых лав с блоками базальтов, не имеющих строения обычных шаров (но характеризующихся слабо выраженной шаровой отдельностью), а также с межшаровым заполнением — межшаровой дресвой и мандельштейном.

Еще один тип шаровых лав наблюдался в обнажениях на левом берегу р. Нижней Тунгуски против пос. Тура, а также на правом берегу р. Тембенчи, в 5–6 км ниже устья р. Верхняя Хекта. В основании потоков, вскрытых этими обнажениями, присутствуют обычные мандельштейновые купола, глубоко вдающиеся в вышележащие массивные долериты (см. фиг. 7). В апикальной части этих куполов "плавают" шаровые тела характерного зонального строения, с хорошо выраженной закалочной коркой и радиальной отдельностью (табл. VI, 2). Мандельштейны в этих куполах чрезвычайно сильно насыщены миндалинами и, возможно, постепенно переходят в гиалокластическую дресву.

Таким образом, отчетливо устанавливается связь шаровых лав с "нижними мандельштейнами". И те и другие локализованы в основании потоков. В одних случаях шаровые лавы постепенно переходят вверх по разрезу в мандельштейны, в других же они приурочены к апикальной части мандельштейновых куполов. К сожалению, изучение переходов межшаровой дресвы в типичные мандельштейны крайне затруднено их сильной разрушенностью и выветрелостью в обнажениях, но у нас сложилось впечатление, что такие переходы есть; при этом мандельштейны постепенно становятся сильнопузыристыми, а структура их — гиалиновой. В свою очередь обломки в дресве также характеризуются стекловатой структурой и миндалекаменным строением.

ШАРОВАЯ ОТДЕЛЬНОСТЬ

Шаровая, иногда скорлуповатая отдельность чрезвычайно широко распространена в эффузивных базальтах Тунгусской синеклизы. Являясь весьма многообразной по своим проявлениям, она в ряде случаев легко может быть спутана с настоящими шаровыми лавами. В базальтах Тунгусской синеклизы шаровая отдельность известна геологам под названием "субшаровые лавы" [Атабаев, Маркина, 1972]. Этот термин нам кажется неудачным, так как подразумевает постепенные переходы к настоящим шаровым лавам. В дальнейшем мы постараемся показать принципиальное отличие этих двух морфологически сходных, но генетически разнородных текстурных типов базальтов. Различается несколько морфологических разновидностей шаровой отдельности.

1. Шаровая отдельность в полигональных пакетах. Полигональные блоки базальтов включают по два-три шара и более. Каждый шар имеет свою корочку отслоения, кроме того, у пакетов шаров наблюдается корочка, отделяющая один пакет от другого (табл. VI, 3). Такие блоки иногда слагают довольно мощные зоны в потоках базальтов.

2. Шаровая отдельность по ортогональной системе трещин отдельности (зон проницаемости). Основой для формирования шара в этом случае служит параллелепипед, ограниченный субвертикальными и субгоризонтальными трещинами отдельности. В этом случае в результате отслоения корочек из каждого блока породы локализуется единственный шар. Удалось наблюдать все стадии этого процесса — от прямоугольной блочности со слегка скругленными углами параллелепипедов (табл. VII, 1) до формирования весьма правильных шаров, заключенных в параллелепипедальные оболочки (табл. VII, 2).

3. Линейная шаровая отдельность. Этот своеобразный тип шаровой отдельности встречен нами лишь в основании верхнего потока на скалах Сулова. Шары очень мелкие (0,5–5 см). Они четковидно локализованы в узкие субгоризонтальные линейные зонки, прослеживающиеся на значительные расстояния (табл. VII, 3).

4. Неправильная шаровая отдельность. Под этим названием объединены как разновидности с неясно выраженными признаками полигонально-шаровой и параллелепипедально-шаровой отдельности, так и различные переходы от нарушенной призматической отдельности к шаровой отдельности. Неправильная шаровая отдельность чрезвычайно характерна для тунгусских базальтов, и способы локализации ее разнообразны. "Нижние" мандельштейны, например, почти во всех случаях характеризуются неправильной шаровой, или комковатой, отдельностью.

Форма тел, слагаемых базальтами с шаровой отдельностью, разнообразна. Чаще всего это купола, подобные мандельштейновым куполам в основании потоков. Иногда базальты с шаровой отдельностью образуют глубокие грибообразные внедрения в долериты со столбчатой отдельностью (табл. VIII, 1). Базальты с шаровой отдельностью нередко локализованы в верхних частях потоков в виде линз и воронкообразных тел, где они имеют постепенные переходы к базальтам с нарушенной столбчатой отдельностью.

Интересные проявления шаровой отдельности наблюдались нами в основании нижнего потока на скалах Сулова. В отторженцах в прикровлевых частях мандельштейнов в основании потока (табл. VIII, 2) развита шаровая отдельность. На концах столбов, где долериты с призматической отдельностью непосредственно контактируют с нижележащими мандельштейнами, также наблюдается шаровая отдельность. Такие текстурные соотношения по-видимому привели некоторых исследователей [Гуринова, 1960а] к заключению о гроздьевидном разрастании шаровых лав непосредственно в основании базальтов с призматической отдельностью.

Развитие шаровой отдельности наблюдалось и в матрацевидном обособлении "настоящей" шаровой лавы (табл. VIII, 3). В подстилающих нижний поток тонкозернистых туфах корвунчанской свиты также отмечается скорлуповато-шаровая отдельность (с полигональными пакетами, табл. IX, 1), что, по-видимому, свидетельствует об общности происхождения этой текстуры как в туфах, так и в перекрывающих их базальтах.

ГЛЫБОВЫЕ ЛАВЫ

Принято считать, главным образом на примере извержений Гавайских вулканов, что наземные базальтовые лавы распространены в двух формах проявлений: в виде волнистых (пахоехое) и глыбовых (аа) лав [Dutton, 1884; MacDonald, 1953; Ритман, 1964; Лучицкий, 1971; и др.]. Аа- и пахоехое-лавы образуются в едином потоке; обычно поток пахоехое-лав сменяется вниз по склону аа-лавой. Лавы пахоехое имеют гладкую, часто волнистую поверхность, они более пузыристы, чем аа-лавы, и обладают большей подвижностью. Аа-лавы, или глыбовые лавы, отличаются неровной поверхностью, покрытой обломочным материалом, называемым брекчией течения. Они характеризуются относительно высокой вязкостью и пониженными температурами.

Очевидно на большей части лавового поля Тунгусской синеклизы развиты пахоехое-лавы¹. Глыбовые лавы появляются лишь в его краевых частях, в частности наблюдаются по рекам Поледжикт и Гончак.

Так, в обнажении на левом берегу р. Поледжикт, в 3–4 км от ее устья вскрыты базальты с угловато-глыбовой отдельностью (табл. IX, 2). Формы блоков крайне неправильные, размер их колеблется в очень широких пределах (от нескольких сантиметров до 3 м). По границам глыб базальты пронизаны штокверком вторичных минералов – кальцита, халцедона, кварца, цеолитов. Участками между глыбами локализованы крупные полости (до 1–2 м), частично выполненные гидротермальными минералами. По простирацию глыбовые лавы постепенно сменяются базальтами с хорошо развитой призматической отдельностью или базальтами с шаровой отдельностью. В основании потоков глыбовых лав нередко (но не всегда) отмечаются линзы шаровых лав (см. фиг. 10).

ГАЗОВЫЕ ТРУБКИ, ЗОНЫ ПРОНИЦАЕМОСТИ

Трубчатые пустоты и пористые цилиндры описаны А.Дю Тойтом [Toit, 1907] и другими исследователями. По описаниям А.Дю Тойта, в диабазах Африки они представлены цилиндрическими участками лавы около 3 см в поперечнике, насыщенными пузырьками. Такие трубчатые пустоты возникают в результате прорыва лавы парами, образовавшимися в результате воздействия раскаленных лав на водонасыщенные или льдонасыщенные отложения, подстилающие лавовые потоки [Лучицкий, 1971]. В базальтах Тунгусской синеклизы "газовые струи" описаны А.П.Лебедевым [1955], который связывает их с зонами мандельштейнов в нижних частях потока на скалах Сулова.

Газовые трубки обычно бывают двух видов. В различных "газопорах", например в корке закалки, отделяющей мандельштейн от вышележащих массивных

¹ Как будет показано в четвертой главе, тунгусские лавы были значительно более жидкими, чем гавайские пахоехое-лавы.

долеритов, часто отмечаются полые либо выполненные кальцитом или каким-либо другим вторичным минералом искривленные трубки диаметром 0,2–3 см и длиной до 10–15 см (табл. IX, 3). Они обычно веретенообразно замыкаются внутри данного прослоя; однако удалось наблюдать их непосредственное продолжение в вышележащих долеритах, но уже в виде цилиндрических тел, насыщенных мелкими, часто вертикально вытянутыми миндалинками. Последние или пустые, или выполнены смектитом. Диаметр газовых трубок этого типа обычно 1–3 см, в редких случаях до 10 см. Как уже отмечалось в первом разделе этой главы, они обязательно присутствуют в грубостолбчатых долеритах и иногда в мелкозернистых призматических базальтах и анамезитах. Обычно газовые трубки хорошо прослеживаются в вертикальных стенках обнажений в виде углублений (табл. X, 1), связанных с более быстрой разрушаемостью материала газовой трубки. Иногда удается проследить, как газовая трубка пересекает всю массивную часть потока базальтов. На торцевых частях крупных столбов долеритов обычно наблюдаются выходы газовых струй (1–3 на каждый столб) в виде ямок диаметром 1–3 см.

Местами видно, как газовые трубки "раскрываются" в вышележащие мандельштейны или миндалекаменные базальты (табл. X, 2). Часто наблюдаются сгущения газовых трубок (например, над апикальными частями мандельштейновых куполов). В других случаях отчетливо локализованная газовая трубка сопровождается в массивных базальтах обширной (также цилиндрической) зоной миндалекаменного строения (табл. XI, 1). В этих случаях, по-видимому, можно говорить о зонах проницаемости в массивных частях потоков. Вокруг газовых трубок, проходящих через массивные базальты, образуются зоны закалки, превышающие их собственный диаметр в 2–2,5 раза. Внутри зоны закалки (относительно тонких трубок) удается наблюдать постепенный переход от витрофировой (у стенки трубки) структуры к метельчатой и далее к пойкилофитовой структуре массивного базальта. Газовые трубки и зоны проницаемости не являются самостоятельными текстурными типами базальтов, а скорее составляют текстурную характеристику массивных базальтов. Однако они имеют огромное значение в геологических соотношениях различных текстурных типов базальтов.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ТЕКСТУРНЫХ ТИПОВ БАЗАЛЬТОВ

Соотношения рассмотренных в предыдущей главе текстурных типов базальтов изучены в береговых обнажениях рек Тембенчи, Кочечумо (в низовьях), Нижней Тунгуски (на протяжении 80 км вниз по течению от пос. Тура), в низовьях рек Поледжикита и Гончака. Во всех этих обнажениях вскрыта нижняя подсвита нидымской свиты, причем в верховьях р. Тембенчи и по ее притокам обнажены верхняя и средняя части нижней подсвиты, а на Нижней Тунгуске, на указанном отрезке ее течения – и нижняя часть, в ряде обнажений непосредственно контактирующая с подстилающими туфами корвунчанской свиты. В низовьях рек Поледжикит и Гончак обнажена средняя часть подсвиты (3, 4 и 5-й покровы). По ряду притоков р. Тембенчи, например по р. Мореле, береговыми обнажениями вскрыта верхняя подсвита нидымской свиты и низы кочечумской свиты.

В береговых обнажениях этих участков в принципе сохраняется общий стиль текстурных соотношений базальтов (вплоть до низов кочечумской свиты). Более верхние горизонты кочечумской свиты и базальты ямбуканской свиты в береговых обнажениях не вскрыты. Их единичные обнажения (уступы) на более высоких гипсометрических уровнях сложены лишь массивными разностями – долеритами и анамезитами. Рыхлые разности, например мандельштейны и прослои туфов, разрушены и представлены на местности наклонными задернованными площадками. Изучение соотношения текстурных типов базальтов в районах их сплошной обнаженности практически невозможно.

В каждом конкретном береговом обнажении удается наблюдать весьма разнообразные сочетания текстурных типов базальтов. Поэтому в расположении материала в настоящей главе возникли трудности, связанные с невозможностью раз-

дельного описания соотношения только каких-либо пар текстурных типов. В каждом разделе приведены описания соотношения текстурных типов базальтов в обнажениях и зарисовки. Вертикальный масштаб зарисовок увеличен в 1,5–2 раза по отношению к горизонтальному, за исключением фиг. 4, полученной путем дешифрирования панорамных снимков.

СООТНОШЕНИЯ МАНДЕЛЬШТЕЙНОВ И МИНДАЛЕКАМЕННЫХ БАЗАЛЬТОВ С МАССИВНЫМИ РАЗНОСТЯМИ

Левый берег р. Тембенчи в 20 км выше устья р. Хороки. На примере этого обнажения рассматриваются взаимоотношения мандельштейнов на различных уровнях потока базальтов с миндалекаменными и массивными разностями, а также роль зон проницаемости в распределении мандельштейнов.

Обнажение вскрывает один поток базальтов видимой мощностью ~ 30 м, при этом подошва и кровля потока не обнажены. На фиг. 3 видно соотношение "нижних" и "верхних" мандельштейнов в потоке. В нижней части потока, по-видимому, представляющей его приподнявшую часть, вскрыты мелкозернистые мандельштейны с обильными миндалинами, выполненными смектитом, цеолитами, пренитом и кальцитом. Мандельштейны с вышележающими долеритами имеют резкий контакт. Они образуют характерные куполовидные вздутия под долеритами. В мандельштейнах отмечаются блоки мелкозернистых базальтов без миндалинов с неправильной отдельностью. Верхний уровень мандельштейнов представлен аналогичной мелкозернистой разностью, насыщенной минерализованными миндалинами. Тела мандельштейнов имеют воронкообразную форму с плоской кровельной частью. Верхний контакт с долеритами резкий, а нижние контакты с миндалекаменными долеритами расплывчатые, постепенные.

Долериты, разделяющие эти два уровня мандельштейнов, пробиты многочисленными газовыми трубками (см. табл. X, 2, табл. XI, 1), количество которых резко возрастает под основанием воронок верхних мандельштейнов. Сами долериты в зоне проницаемости становятся сильнопористыми, миндалекаменными.

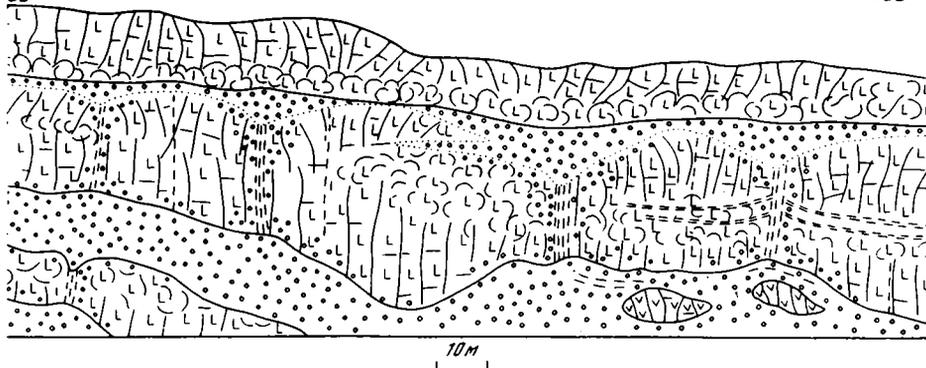
Таким образом, в основании воронок мандельштейнов верхних уровней существуют зоны проницаемости, соединяющие их с нижними мандельштейнами. Интерпретация этого важнейшего факта будет дана в следующей главе. Здесь же следует подчеркнуть, что сочетание куполов и воронок, соединенных зонами проницаемости, является главным мотивом соотношений различных текстурных типов базальтов, а не только мандельштейнов.

Долериты между верхними и нижними мандельштейнами, а также выше мандельштейнов имеют неправильноглибовое или неясностолбчатое строение, участками с шаровой отдельностью (особенно вблизи мандельштейнов и зон проницаемости). В долеритах также отмечается слабо проявленная "слоистость" (ребристость), обусловленная чередованием слоев различной устойчивости к выветриванию. Очень интересен заворот "слояков" вверх при пересечении их зонами проницаемости; по-видимому, это свидетельствует о том, что к моменту формирования зон проницаемости "слойки" были еще в жидко-пластичном состоянии.

В левом нижнем углу рисунка изображен еще один уровень мандельштейнов — более низкий, чем описанные нижние мандельштейны, с которыми они также общаются через зону проницаемости. Таким образом, нижние мандельштейны являются верхними по отношению к самым нижним. В целом в обнажении выявляется три уровня мандельштейнов, расположенных кулисообразно и соединенных зонами проницаемости.

Скала 15-го километра. Обнажение на правом берегу Нижней Тунгуски в 15 км ниже пос. Тура было тщательно изучено на протяжении трех полевых сезонов. Сделана детальная зарисовка обнажения от устья ручья Архип-Балаган до устья р. Делингдэ (около 2,5 км). Представленный здесь рисунок (фиг. 4) получен путем дешифрирования фотопанорамы средней части скалы (около 550 м).

Для основания разреза, вскрытого обнажением потока, характерно обилие куполов мандельштейнов. В крайней юго-западной части обнажения, в пабереге можно наблюдать многочисленные вспучивания — в плане плоские купола диаметром до 10 м, сложенные долеритами и местами прорванные мандельштейнами. Формирование этих куполов, очевидно, обусловлено подпором газов из нижележащих мандельштейнов. Те же купола видны в стенке скалы, но уже в разрезе. Один из куполов детально описан в предыдущей главе (см. фиг. 1). Хотя нижний контакт потока не вскрыт, обилие включений тонкозернистых туфов в мандельштейнах свидетельствует о его близости. Туфы корвунчанской свиты появляются под



Фиг. 3. Система мандельштейновые купола—зоны проницаемости—мандельштейновые воронки в обнажении по левому берегу р. Тембенчи, 20 км выше устья р. Хороки
Условные обозначения см. на фиг. 1

базальтами на левом берегу Нижней Тунгуски, примерно в 8 км вниз по течению.

Выше по разрезу, над мандельштейнами, обычно залегают долериты, причем в одних участках с великолепно проявленной грубостолбчатой отдельностью, в других — с неправильно столбчатой или же просто с неправильной отдельностью. Участками в долеритах со столбчатой отдельностью заметна неясно выраженная "слоистость" (ребристость). На фиг. 4 "слоистость" не изображается из-за мелкого масштаба. Переходы от столбчатой отдельности к неясностолбчатой и неправильной обычно довольно резкие. Достаточно четко проявляется закономерность: хорошая столбчатая отдельность наблюдается при малом количестве мандельштейнов в основании данного участка потока. Над куполами отмечается разворот столбов (так, что столбы как бы стремятся быть ориентированными нормально к кровле купола мандельштейнов). В верхней части потока, над куполом иногда присутствуют воронкообразные тела долеритов с неправильной отдельностью (средняя часть рисунка).

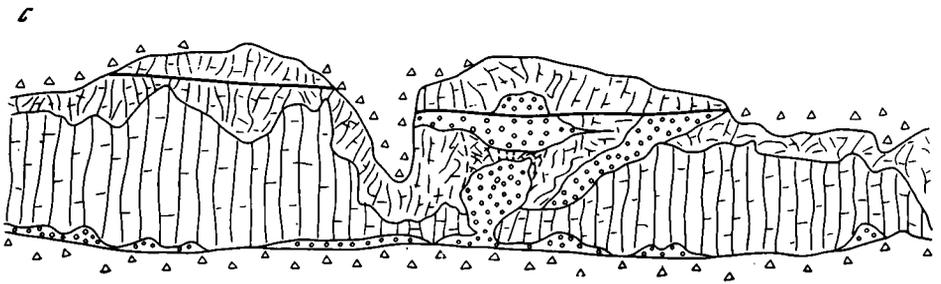
Наиболее интересным элементом строения нижнего потока являются фреатические прорывы. На фиг. 4 изображены два таких прорыва. Это сложно построенные тела, сложенные мандельштейнами, имеющие строение песочных часов, с пережимом (перемычкой долеритов) в средней части, прорывающие поток на всю его мощность. Приводим описание фреатического прорыва, расположенного ближе к юго-западному окончанию обнажения (см. фиг. 4, справа).

В обнажении нижняя часть прорыва скрыта низким (до 3 м) уступом столбчатых долеритов. Следует учитывать, что обнажение не является строго вертикальной стенкой и основание прорыва смещено в глубь плоскости рисунка (что хорошо видно на табл. X, 3). В соседнем (к северо-востоку) прорыве основание прорыва непосредственно соединяется с нижними мандельштейнами. Тело прорыва сложено преимущественно мандельштейнами с линзами мелкозернистых базальтов и перемычкой долеритов с неправильной отдельностью в средней части. Разрез тела снизу вверх следующий.

1. Мандельштейны зеленовато-серые, рыхлые, сильно насыщенные миндалинами (кальцит, цеолиты) в нижней части прорыва.
2. Под перемычкой — рыхлые желтовато-зеленые мандельштейны с миндалинами, выполненными смектитом.
3. Серый мандельштейн с мелкими миндалинами, выполненными смектитом в верхней части тела и в отходящих от него "клиньях".
4. Непосредственно под перекрывающими тело столбчатыми долеритами залегает мандельштейн, чрезвычайно сильно насыщенный миндалинами, сложенный кальцитом и цеолитами.

Долериты, вмещающие тело фреатического прорыва, имеют следующее строение: хорошо выраженная (справа и слева) столбчатая отдельность по мере приближения к мандельштейнам постепенно "портится" — переходит в дробленую комковатую отдельность. Граница столбчатой отдельности клиновидно уходит к основанию тела прорыва.

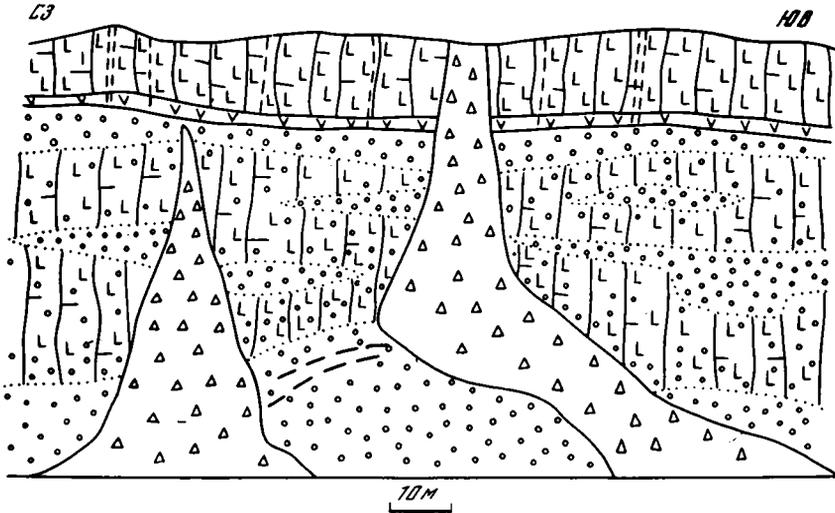
Под вышележащими столбчатыми долеритами наблюдаются два уходящих вправо субпараллельных клина мандельштейнов. Тело фреатического прорыва по рез-



Фиг. 4. Мандельштейновые купола и фреатические прорывы. Нижняя Тунгуска, скала 15-го километра

1 — столбчатые долериты; 2 — долериты с нарушенной столбчатой отдельностью

Остальные условные обозначения см. на фиг. 1



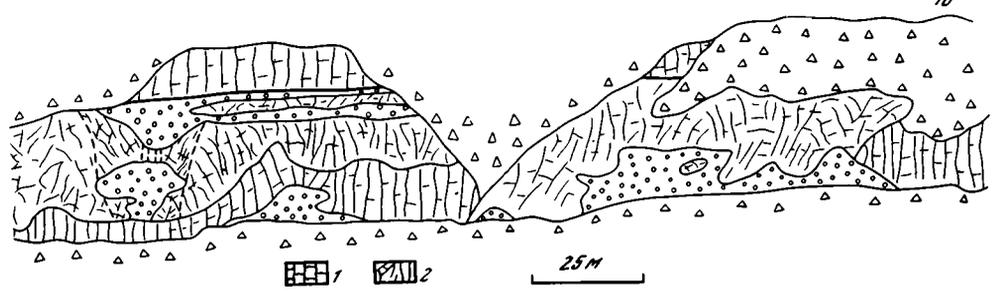
Фиг. 5. Соотношения мандельштейнов и миндалекаменных базальтов; р. Тембенчи, в 1 км выше устья р. Дялингды

Условные обозначения см. на фиг. 1

кой границе срезано грубостолбчатыми долеритами, очевидно, являющимися новым потоком. Эта граница отчетливо выражена по всему обнажению, по крайней мере на расстоянии 2 км. Почти на всех участках второй поток представлен массивными грубостолбчатыми горошистыми долеритами, однако над вторым фреатическим телом (см. фиг. 4, слева) в основании второго потока наблюдается мандельштейновый купол и развал столбчатой отдельности.

По нашему предположению, описанные тела прорывов являются фреатическими вулканами в разрезе. Фреатический вулканизм характерен для платобазальтов и описан, например, в Исландии, где на о-ве Мивати наблюдаются многочисленные шлаковые конусы маленьких бескорневых вулканчиков [Ритман, 1964]. В нашем случае шлаковые конусы, очевидно, не сохранились, так как были срезаны вышележащим потоком базальтов. В другом обнажении, также по правому берегу Нижней Тунгуски, в 8 км ниже пос. Нидым, в верхней части подобного тела прорыва сохранилась рыхлая грубообломочная порода, имеющая явное туфогенное строение, не прослеживающаяся по простиранию в стороны от прорыва. Очевидно, это остатки шлакового фреатического аппарата.

Для столбчатых долеритов весьма характерны газовые трубки. Их сгущение (зоны проницаемости) наблюдаются в перемячках в телах фреатических прорывов, а также над мандельштейновыми куполами (на фиг. 4 не показаны). Интересно, что с мандельштейновыми куполами на более верхних уровнях потока сопряжены воронкообразные тела, но в отличие от описанного выше обнажения почти во всех случаях они представлены не мандельштейнами, а долеритами с мел-



кой неправильной отдельностью. Обращает на себя внимание полное отсутствие шаровой отдельности в базальтах.

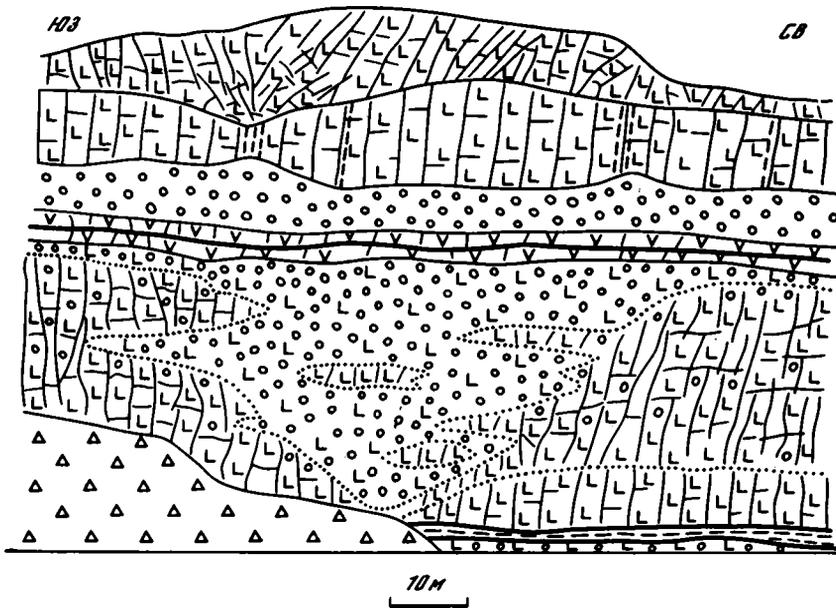
В мандельштейновых куполах и фреатических прорывах интенсивно развита вторичная минерализация. Кроме выполнения миндалин (смектит, цеолиты, кальцит), распространены штокверковые жилы в латеральных окончаниях куполов, а также субпараллельные кровле купола жилы кремней с кальцитом мощностью до 30–40 см. Такие же субгоризонтальные жилы кремней наблюдаются и в мандельштейнах фреатических прорывов.

Левый берег р. Тембенчи в 1 км выше устья р. Дялингды. На примере этого обнажения рассмотрено соотношение мандельштейнов и миндалекаменных базальтов (фиг. 5). В нижней части обнажения залегают типичные мандельштейны, участками образующие купола. Мандельштейны мелкозернисты, неравномерно (участками – до полного отсутствия) насыщены миндалинами, выполненными цеолитами и смектитом. Отмечаются включения (диатремы?) туфогенного материала в виде линз и жил.

Столбчатые долериты над мандельштейнами также имеют миндалекаменное строение: в них отмечаются относительно редкие и крайне неравномерно распределенные миндалины, выполненные смектитом и цеолитами. При этом сохраняется пойкилоофитовая (пойкилоофито-интерсертальная) структура долеритов. В столбчатых базальтах локализованы многочисленные неправильные камеры и линзы настоящих мандельштейнов, т.е. пород мелкозернистого строения, сильно насыщенных миндалинами. Переходы от них к миндалекаменным долеритам постепенные. Так же постепенно они переходят в мандельштейны, локализованные в верхней части обнажения. Выше этих мандельштейнов залегают столбчатые долериты, которые отделены от мандельштейнов зоной закалки мощностью около 5 см. В мелкозернистом базальте этой зоны наблюдаются многочисленные полые газовые трубки, выполненные кальцитом и смектитом. Эти газовые трубки начинаются еще в нижележащих мандельштейнах, затем переходят в зону закалки, а в перекрывающих долеритах продолжают уже в виде газовых трубок иного типа – цилиндров, насыщенных мелкими миндалинками. Газовые трубки в долеритах весьма многочисленны.

Описанные соотношения позволяют считать, что базальты, вскрытые обнажением, принадлежат к одному потоку. Массивная часть потока (долериты) представлена в верхней части обнажения. В нижней части мы видим три зоны мандельштейнов и миндалекаменных базальтов: нижние мандельштейны, аналогичные описанным в предыдущих разделах, столбчатые миндалекаменные долериты с линзами мандельштейнов, постепенно переходящие в третью зону – верхние мандельштейны.

Левый берег р. Тембенчи напротив устья р. Верхний Солокит. В обнажении вскрыто три потока базальтов (фиг. 6). В нижней его части залегают миндалекаменные долериты видимой мощностью около 1 м. Выше расположен прослой тонкозернистых тонкослоистых туфов невыдержанной мощности (в среднем 0,3 м). На них непосредственно залегают столбчатые долериты второго потока, мощность которого около 20 м. Столбчатые долериты вверх по разрезу постепенно становятся миндалекаменными, но сохраняют столбчатую отдельность. В центре фиг. 6 изображено воронкообразное тело миндалекаменных долеритов, лишенных столбчатой отдельности (с неправильной, комковатой отдельностью). Они сильнее насыщены миндалинами, количество которых резко возрастает под коркой закаливания (кровлей) потока. Контакт миндалекаменных долеритов со столбчатыми миндалекаменными долеритами неровный. В миндалекаменных долеритах содержатся линзы и блоки пород со столбчатой отдельностью.



Фиг. 6. Обнажение на левом берегу р. Тембенчи, напротив устья р. Верхний Солокит
Условные обозначения см. на фиг. 1

В кровле потока отмечается незначительная по мощности (5–10 см), но невыдержанная по простиранию зона закалки – базальты афанитового строения. На втором потоке, также с зоной закалки в основании, залегают базальты третьего потока. В нижней части этого потока – мандельштейны обычного типа, образующие куполообразные внедрения в вышележащие столбчатые долериты. В долеритах отмечаются многочисленные газовые трубки и зоны проницаемости. Над одной из таких зон проницаемости в верхней части потока расположено воронкообразное тело базальтов с опрокинутой и разрушенной столбчатой отдельностью. Видимая мощность верхнего потока около 15 м.

* * *

Таким образом, распространенное мнение о том, что мандельштейны и миндалекаменные базальты слагают лишь верхние и в меньшей степени нижние зоны потоков базальтов, справедливо лишь в самых общих чертах. Такая концепция основана преимущественно на умозрительном представлении об объемном характере дегазации лавы – подъеме пузырьков лавы к кровле потока и в меньшей мере – на наблюдениях. Анализ геологических соотношений мандельштейнов, миндалекаменных базальтов и массивных разностей показывает, что реальная картина намного сложнее. Наблюдаемые разнообразные соотношения, очевидно, более убедительно можно объяснить прохождением газов (главным образом паров воды) снизу вверх, от подошвы потока к его кровле, с локализацией мандельштейнов и миндалекаменных базальтов на разных уровнях потока. При этом возникают наиболее типичные ситуации.

1. Система нижние мандельштейны (с куполами) – зоны проницаемости в массивных базальтах – воронкообразные тела мандельштейнов. Последние локализуются в основном под различными газоупорами и как частный случай – под закалочной зоной кровли потока.

2. Фреатические прорывы являются развитым частным случаем системы “купола–воронки”, так как нередко в средней части тела прорыва присутствует перемычка базальтов неминдалекаменного строения, пронизанная многочисленными газовыми трубками. Как уже было показано, фреатические тела прорывают поток от его основания до кровли и, вероятно, являются фреатическими бескорневыми вулканами, наблюдаемыми в разрезе.

3. Миндалекаменные массивные долериты могут возникать в отсутствие типичных мандельштейнов. Миндалекаменность в этом случае заметно увеличивается к кровле потока. Само тело миндалекаменных долеритов имеет воронкообразную

форму. Миндалекаменные долериты иногда служат как бы буфером между нижними мандельштейнами и мандельштейнами, локализованными под массивной зоной базальтов. В этом случае возникают весьма сложные и трудно поддающиеся расшифровке соотношения (см. фиг. 6).

Важно также отметить, что место верхних мандельштейнов в системах купола—зоны проницаемости—воронки часто занимают воронкообразные тела массивных базальтов с нарушенной столбчатой отдельностью, при этом наиболее неправильная, мелкокомковатая отдельность характерна для основания воронки (непосредственно над зоной проницаемости).

ВЛИЯНИЕ ГАЗОУПОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЗОНАЛЬНО-СЛОИСТОГО СТРОЕНИЯ ПОТОКОВ БАЗАЛЬТОВ

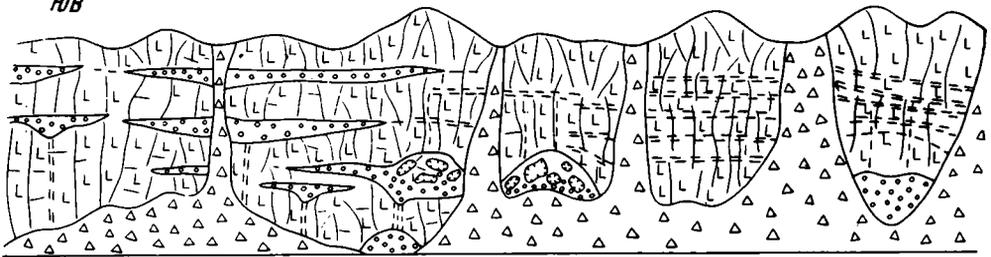
Различные газопоры, т.е. зоны низкой газовой проницаемости, возникающие в лаве еще в жидком состоянии, играют решающую роль в формировании зонального, а иногда и "слоистого" строения потоков базальтов. Такими газопорами являются зоны закалки над нижними мандельштейнами (особенно над куполами), прорываемые газовыми трубками, уходящими вверх, в массивные разности. Зона закалки в кровле потока базальтов также играет роль газопора, в результате чего в ряде случаев отмечается резкое повышение концентрации миндалин в прикровлевой зоне. Здесь мы рассмотрим соотношения, возникающие под влиянием "слоистости", отмечающейся в некоторых потоках базальтов (см. фиг. 5, 6).

Левый берег р. Тембенчи в 5 км ниже устья р. Верхняя Хекта. Обнажение (фиг. 7) позволяет наблюдать весьма разнообразное соотношение текстурных типов в пределах одного потока базальтов. Его видимая мощность около 20 м. Ни кровля, ни подошва потока не обнажены.

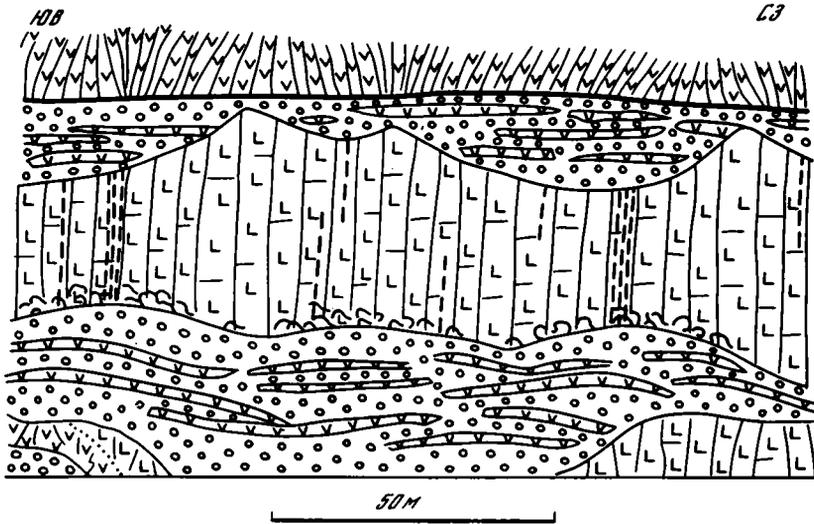
В северо-западной части обнажения вскрыты выходы долеритов с хорошо развитой шаровой отдельностью. В одном из участков обнажения наблюдаются неясные проявления "слоистости", на которую накладывается шаровая отдельность. При движении на северо-восток долериты с шаровой отдельностью постепенно переходят в неправильностолбчатые долериты, в которых вскоре появляется весьма строгая горизонтальная "слоистость", обусловленная чередованием более рыхлых и более плотных прослоев долеритов (см. табл. II, 1, 2). Необходимо отметить, что как плотные, так и менее плотные "слои" прорваны многочисленными газовыми трубками (см. табл. II, 1). Очевидно, это свидетельствует о существовании "слоистости" еще в жидкой лаве, до прохождения газов (паров воды) снизу вверх через поток базальтов. Выше по разрезу вскрываются долериты с неправильностолбчатой разваленной отдельностью.

Далее, при движении на юго-восток в нижней части обнажения появляются мандельштейновые купола. Горизонтальная "слоистость" над куполами выражена несколько хуже; наблюдается "обтекание" куполов слойками. Еще юго-восточнее в апикальных частях куполов появляются настоящие шаровые лавы. Шары размером от 20 до 150 см имеют типичное строение: радиальные трещины отдельности и закалочные зоны, состоящие из мелкозернистого базальта с миндалинами. Мандельштейны в этих куполах чрезвычайно насыщены миндалинами; в самой апикальной части куполов они переходят в межшаровую дресву. От куполов с шаровыми лавами отходят клиновидные трещины с частично минерализованными полостями (кальцит). Интересно отметить, что эти купола не локализируются, как обычно, в основании потока базальтов. Под одним из куполов, содержащих шаровые лавы, наблюдаются неправильно столбчатые долериты, в которых еще ниже, у самого уреза воды, наблюдался мандельштейновый купол, соединенный с верхним куполом, содержащим шаровые лавы, зоной проницаемости.

Далее, при движении на юго-восток, базальты постепенно теряют свою "слоистость" и строение толщи существенно меняется. Здесь наблюдается система воронкообразных тел мандельштейнов, создающих в обнажении характерную клиновидно-полосчатую картину. Важно отметить, что тела мандельштейнов (уплощенные воронки) имеют плоскую кровлю. Наличие постепенного перехода от слоистых базальтов к системе мандельштейновых воронок позволяет предположить, что именно более плотные (более вязкие) слойки, существовавшие в базальте еще в жидком состоянии, и послужили газопорами, локализовавшими мандельштейны на разных уровнях в потоке базальтов. Следует также обратить внимание на наблюдаемую в обнажении латеральную смену различных текстурных типов базальтов.



Фиг. 7. Соотношение "слоистости" базальтов и мандельштейнов; р. Тембенчи, в 5 км ниже устья р. Верхней Хекты
Условные обозначения см. на фиг. 1

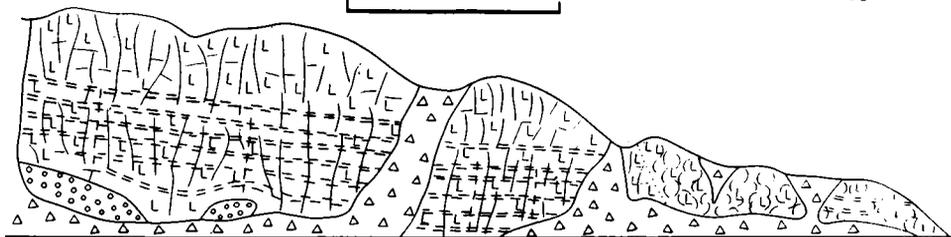


Фиг. 8. Реликты газоупоров в мандельштейнах; р. Тембенчи, в 7 км от ее устья
Условные обозначения см. на фиг. 1

Скала на правом берегу р. Тембенчи в 1 км выше устья р. Анаун. В северной части выхода обнажаются ритмичнослоистые базальты, аналогичные описанным выше. Вверх по разрезу в этой части обнажения ритмичная слоистость исчезает, долериты становятся неправильно столбчатыми. Видимая часть разреза потока венчается обычными воронкообразными телами мандельштейнов. При движении на юг столбчатость базальтов искривляется, ритмичная "слоистость" деградирована. В долеритах появляются линзы мандельштейнов.

В южной части обнажения наблюдаются весьма интересные соотношения (табл. XI, 2, 3). Здесь масса базальтов разобрана системой газоупоров (корок) черно-фиолетового цвета, под которыми происходит скопление миндалинов; при этом их размеры уменьшаются по направлению к газоупору. Корки ограничивают своеобразные камеры мандельштейнов, обращенные выпуклостями вверх. Над корками наблюдаются газовые трубки, выполненные кальцитом.

В обнажении отмечается несколько этажей миндалекаменных базальтов, ограниченных корками — зонами плотных афанитовых базальтов. Каждый этаж имеет следующее строение. Внизу — долериты с неясностолбчатой отдельностью, пронизанные мощными зонами проницаемости, что хорошо видно на табл. XI, 2, 3. Эти зоны проницаемости можно наблюдать и в торцах столбов: диаметр их достигает 10–15 см и выглядят они, как решето. Выше по разрезу долериты полностью утрачивают столбчатое строение и становятся миндалекаменными. Еще выше резко увеличивается количество миндалинов и непосредственно под корками порода переходит в мандельштейн. Иногда под корками наблюдаются полости (10–20 см), выполненные исландским шпатом. Следующий этаж снова начинается с долеритов с неясностолбчатой отдельностью, причем в их основании наблюдаются газовые трубки, выполненные кальцитом, и редкие крупные миндалины.



На смыкании кокард корок иногда отмечаются шары диаметром 10–15 см, принципиально ничем не отличающиеся от шаров шаровых лав. Они имеют стекловатую корку и миндалекаменное строение.

Таким образом, описанные необычные мандельштейны созданы системой газопороров, которые сформировались в лаве еще до массового внедрения водяных паров. Фациальные взаимоотношения — близость (10–15 м) по латерали толщи ритмичнослоистых базальтов — дают основание считать, что такую систему могли создать газопоры, которые в северной части обнажения выглядят как слои более плотных базальтов. Эти слои (газопоры) под напором поднимающихся снизу газов взламывались и выгибались вверх.

Правый берег р. Тембенчи в 7 км от ее устья. Принципиальная схема соотношения текстурных типов базальтов, вскрытых в обнажении, показана на фиг. 8. В нижней части разреза вскрыты своеобразные "слоистые" мандельштейны, над ними — столбчатые долериты с многочисленными зонами проницаемости, еще выше — обычные воронкообразные тела верхних мандельштейнов, перекрытые потоком анамезитов.

В крайней северо-западной части обнажения, отделенной от основного обнажения зоной задернованности протяженностью около 200 м, на месте нижних мандельштейнов под столбчатыми долеритами залегают ритмичнослоистые базальты, аналогичные описанным в предыдущих разделах. Под ними видны небольшие купола мандельштейнов, над которыми плотные слои изгибаются и деградируют.

Реликты подобных деградированных слоев обнаружены в нижних мандельштейнах и в основной (юго-восточной) части обнажения (табл. XII, I). Местами они ритмично чередуются с мандельштейнами. По латерали слои прерывисты, сложно перекрещиваются. В целом они образуют систему газопороров; детали обнажения напоминают картину, наблюдавшуюся в Анаунском обнажении.

Очевидно, мандельштейны сформированы в результате бурного подтока паров воды снизу, за счет менее плотных (более рыхлых) "прослоев" базальтов. В целом ритмично чередующиеся мандельштейны и плотные слои обуславливают неправильнослоистое строение нижних мандельштейнов. В верхних мандельштейнах на фоне их воронкообразного строения также отлагаются прослои и линзы более плотных, устойчивых к выветриванию базальтов, обуславливающих "слоистость" пород.

На мандельштейнах залегают чрезвычайно мелкозернистые черные "звонкие" базальты — анамезиты. Они имеют мелко столбчатую отдельность. Столбы неровные, часто изогнуты и завалены. Видимая мощность потока 30–35 м (на фиг. 8 показана его нижняя часть).

Анамезиты спокойно, горизонтально залегают на мандельштейнах нижнего потока. Никаких шлаковых корок в его кровле не обнаружено. Видимых контактовых изменений также нет. В подошве анамезиты чрезвычайно тонкозернисты. Вверх по разрезу зернистость становится чуть грубее, но в целом породы сохраняют однородное строение. В них полностью отсутствуют миндалины, жилы и другие проявления вторичной минерализации.

* * *

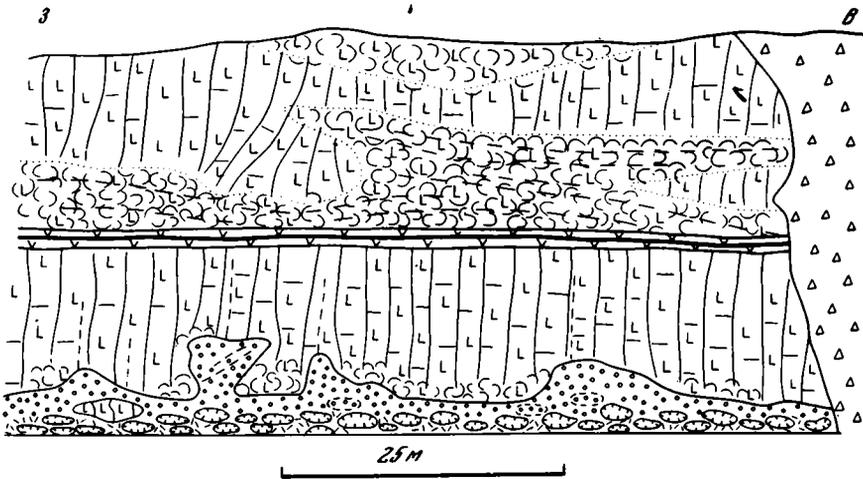
В этом разделе рассмотрены три случая влияния первичных субгоризонтальных неоднородностей в потоках базальтов на формирование их "слоистого" или линзующегося строения. Очевидно, в лаве наряду с неоднократно наблюдавшимися вертикальными зонами проницаемости в результате существования ритмично чередующихся "слоев" различной вязкости имели место и горизонтальные зоны проницаемости. "Слоистое" строение потоков базальтов, обусловленное чередованием

массивных разностей и мандельштейнов, встречается довольно часто (табл. XII, 2). Хотя и не всегда удается проследить их латеральные переходы в пределах одного потока к базальтам с более массивным и однородным строением, мы предполагаем, что "слоистое" строение потоков во всех случаях обусловлено системой субгоризонтальных газопоров, существовавших в жидкой лаве еще до массового внедрения водяных паров.

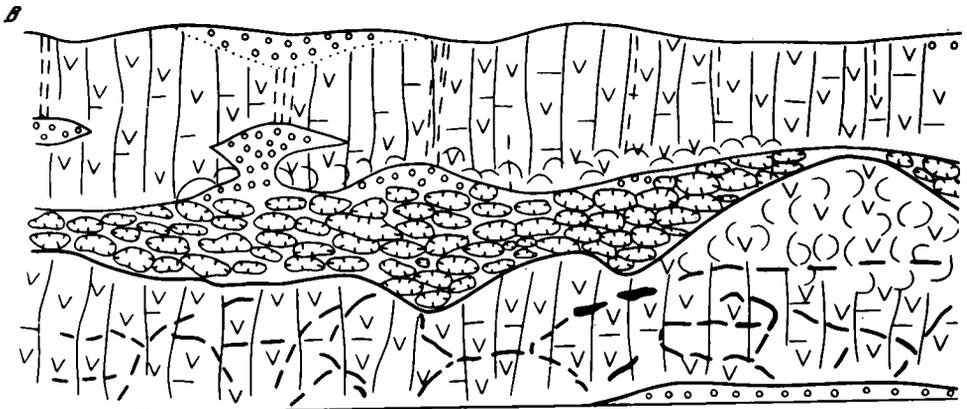
ШАРОВЫЕ И ГЛЫБОВЫЕ ЛАВЫ

Шаровые лавы из изученных нами обнажений достаточно подробно описаны во второй главе. Здесь же мы ставим задачу лишь показать их взаимоотношения (в пределах потоков) с другими текстурными типами базальтов. Глыбовые лавы встречаются в тесном парагенезисе с шаровыми лавами в обнажениях низовьев р. Тембенчи и левобережных притоков р. Нижней Тунгуски. Рассмотрим шаровые лавы, локализованные в основании потоков в виде линз различной мощности и протяженности.

Скалы Сулова. Это, пожалуй, самое известное обнажение тунгусских эффузивных базальтов протянулось по правому берегу р. Нижней Тунгуски на расстояние около 2,5 км, примерно в 70 км вниз по течению от пос. Тура. Общая мощность вскрытого разреза базальтов достигает 60–70 м. По нашим данным, в разрезе можно наблюдать два потока базальтов, причем их граница постепенно погружается в восточном направлении, так что в восточной части скалы обнажен лишь верхний поток, имеющий здесь, кстати сказать, типичное "слоистое" строение.



Фиг. 9. Соотношения текстурных типов в разрезе двух потоков базальтов скал Сулова
Условные обозначения см. на фиг. 1



Фиг. 10. Шаровые лавы в обнажении правого берега р. Гончак (10 км от устья)
Условные обозначения см. на фиг. 1

Принципиальное соотношение текстурных типов базальтов в разрезе этих двух потоков отражено на зарисовке небольшого участка обнажения (фиг. 9). Как уже отмечалось, под основанием нижнего потока в западной части скал Суслова вскрыты тонкозернистые тонкослоистые туфы корвунчанской свиты со скорлуповато-шаровой отдельностью (см. табл. IX, 1). На туфах непосредственно залегают шаровые лавы (мощность линзы 1,5–3 м, протяженность примерно 0,5 км). Выше по разрезу шаровые лавы переходят в мандельштейны, образующие купола и грибообразные внедрения в вышележащие массивные долериты. В мандельштейнах отмечаются отторженцы от подошвы массивных базальтов (подробнее о шаровых лавах скал Суслова и их соотношениях с мандельштейнами см. во второй главе).

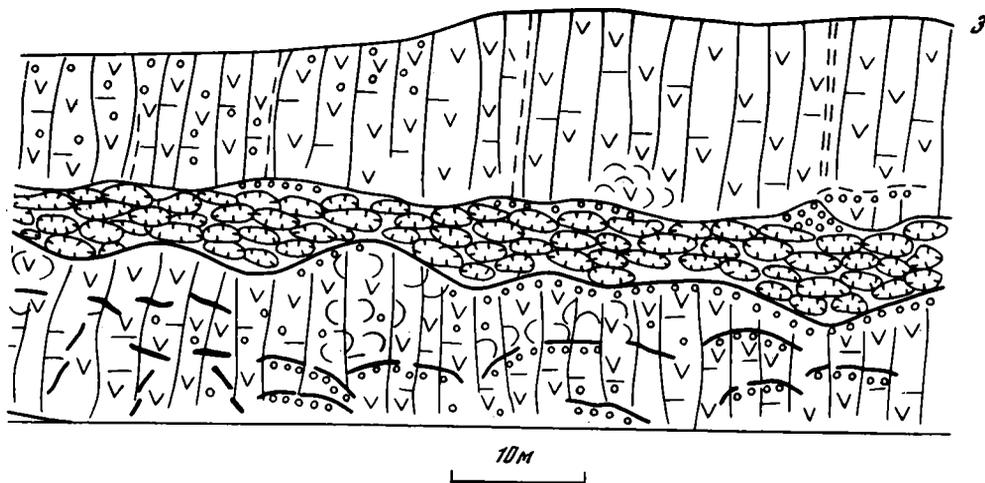
От вышележащих массивных базальтов мандельштейны отделены коркой закаливания (около 5 см). Для нижних частей столбов долеритов чрезвычайно характерна шаровая отдельность, послужившая, вероятно, основанием для представления о том, что шаровые лавы гроздьями висят на подошве вышележащих массивных базальтов.

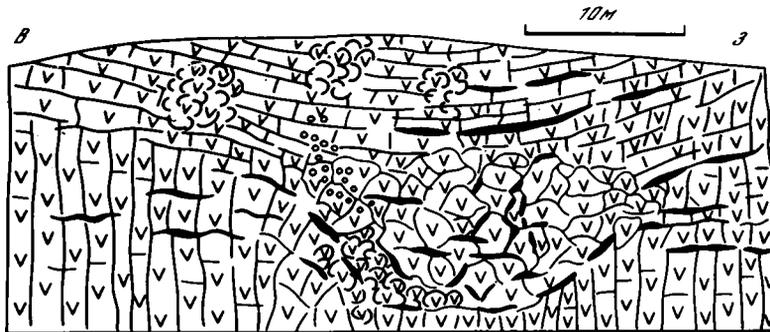
Выше по разрезу долериты имеют нормальное грубостолбчатое строение и пронизаны многочисленными газовыми трубками. Важно отметить отсутствие верхних мандельштейнов в нижнем потоке базальтов. Вверх по разрезу зернистость их несколько уменьшается, и через зону закалки (около 10 см) они контактируют с верхним потоком. Общая мощность нижнего потока базальтов 12–15 м. Верхний поток базальтов также в основании имеет маломощную зону закалки. В целом контакт этих двух потоков ровный и спокойный.

К основанию верхнего потока приурочены базальты со своеобразной, характерной только для скал Суслова мелкошаровой "линейной" отдельностью, локализованной в узкие линейные субгоризонтальные зонки (см. табл. VII, 3). По-видимому, такая своеобразная текстура обусловлена существованием субгоризонтальных зон проницаемости в почти остывшем потоке. Лавы с мелкошаровой отдельностью образуют куполовидные и воронковидные тела в нижней и верхней частях потока. Массивные базальты характеризуются неправильно столбчатым строением (часто столбы изогнуты) и нечетко выраженным ритмичностолбчатым строением.

Правый берег р. Гончак в 10 км от ее впадения в р. Нижнюю Тунгуску. Обнажение вскрывает три потока базальтов, относящихся к средней части нижней подсвиты нидымской свиты (фиг. 10).

Нижний поток представлен лишь кровлевой миндалекаменной частью и вскрыт на видимую мощность не более чем 0,5 м. Миндалекаменный базальт среднезернистый, умеренно насыщенный миндалинами, с характерным сургучно-красным цветом. Средний поток представлен мелкозернистыми базальтами с интерсертальной структурой. Отдельность базальтов переходная — от призматической к крупноглыбовой. Участками в базальтах отчетливо проявлена среднестолбчатая отдельность, переходящая как по простиранию, так и по мощности потока в крупноглыбовую отдельность. Границы глыб, очевидно, являлись зонами проницаемости: по ним развиты штокверки гидротермальных минералов — кальцита, халцедона, цеолитов. Между глыбами иногда локализованы крупные клиновидные полости, частично





Фиг. 11. Глыбовые лавы; обнажение на р. Гончак
Условные обозначения см. на фиг. 1

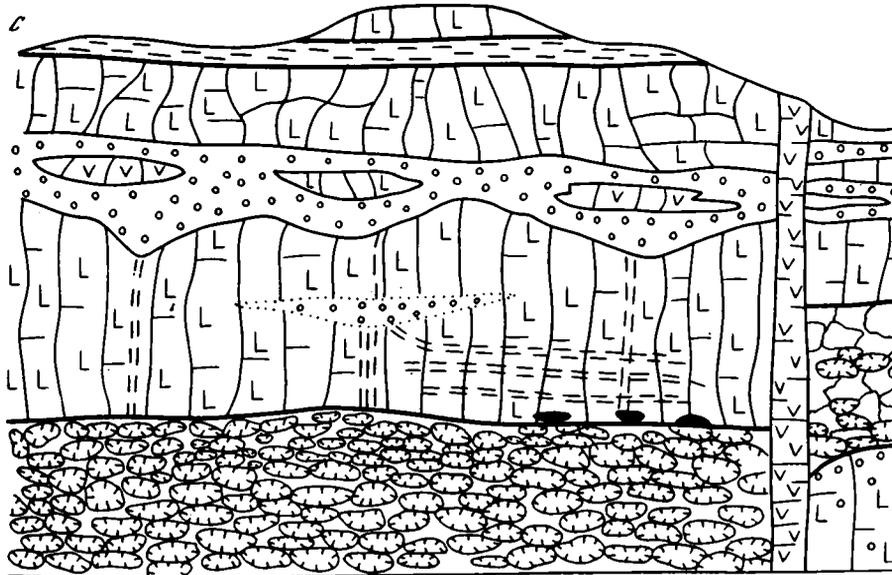
выполненные теми же минералами. В базальтах этой части потока отсутствуют газовые трубки. В верхних его частях появляется шаровая отдельность.

При движении на запад характер сочетания глыбовой и призматической отдельности меняется. Появляются субгоризонтальные изогнутые зоны, ограниченные сверху жилками халцедона и кальцита, под которыми наблюдается скопление миндалин. Они напоминают "кокардовые" изогнутые зоны газупоров Анаунского обнажения. Над "кокардовыми" зонами обычно отмечается шаровая отдельность. В этой же части обнажения появляются редкие миндалины, концентрация которых увеличивается к указанным зонам и к кровле потока.

Кровля среднего потока характеризуется крайне неровным рельефом. При общей мощности среднего потока около 10 м (в среднем) амплитуда колебаний отметок кровли потока достигает 5 м. Очевидно, такой рельеф потока возник в результате нагромождения глыб в его различных участках.

В основании верхнего потока расположена невыдержанная по простиранию линза шаровых лав. Шаровые лавы плотной упаковки, размер шаров и подушек 0,2–2,5 м по длинной стороне. Обычно они уплощены. Межшаровая дресва рыхлая, представлена гиалокластикой. Характерной особенностью тела шаровых лав является почти зеркальное поведение верхней и нижней границы линзы, что хорошо видно на фиг. 10.

Местами над шаровыми лавами отмечаются купола и "грибы" мандельштейнов, вдающиеся в вышележащие массивные базальты. В основании массивных базальтов верхнего потока также отмечаются "кокардовые" зоны, под которыми скапливаются миндалины. Массивные базальты верхнего потока имеют сред-



Фиг. 12. Обнажение левого берега р. Тембенчи в 5 км от ее устья
Условные обозначения см. на фиг. 1

нестолбчатую отдельность. В отличие от нижнего потока для этих базальтов характерны газовые трубки, участками образующие ступени, которые играют роль зон проницаемости, соединяющих купола мандельштейнов над шаровыми базальтами с воронкообразными телами мандельштейнов в верхней части потока.

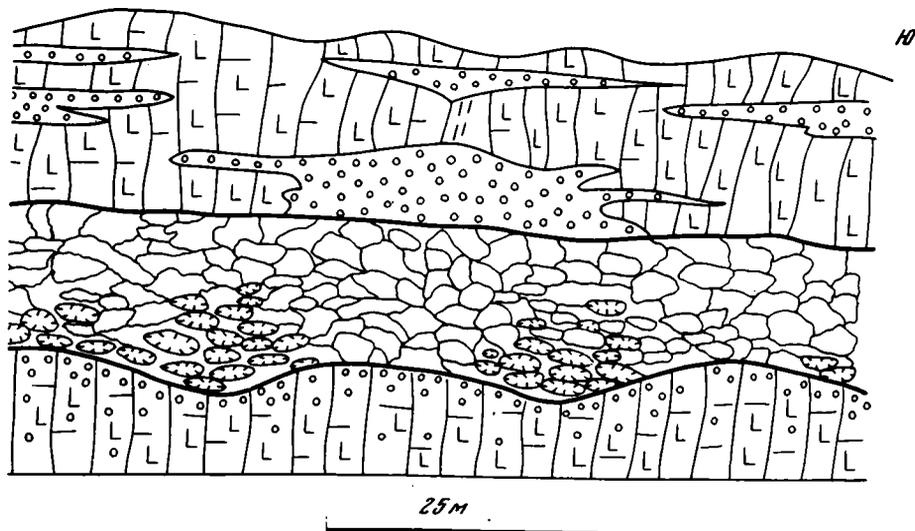
Линза шаровых лав в основании верхнего потока прослеживается в обнажении примерно на 300 м и выклинивается в западном направлении. Еще около 250 м к западу вскрыт верхний поток несколько иного строения (фиг. 11). В нижней части потока участки с хорошо проявленной столбчатой отдельностью перемежаются с глыбовой отдельностью, особенно четко проявленной в средней части обнажения. Здесь развиты многочисленные штокверки, выполненные кальцитом, халцедоном и цеолитами, а также крупные полости между глыбами, частично также минерализованные. Глыбовая отдельность осложнена шаровой отдельностью. Вверх по разрезу глыбовые лавы переходят в неправильностолбчатые, грубоплитчатые базальты.

Следовательно, на сравнительно небольшом (около 300 м) расстоянии в пределах верхнего потока существенно изменяются соотношения текстурных типов базальтов.

Левый берег р. Тембенчи в 5 км от ее устья. Обнажение вскрывает четыре потока базальтов. Примерно в его середине толщу базальтов прорывает дайка мощностью около 5 м. Падение ее вертикальное, простираение восток-запад. Дайка сложена черными однородными тонкозернистыми базальтами и приурочена к плоскости сброса, по которой северный блок опущен относительно южного на 10–15 м (фиг. 12).

В основании разреза северного блока вскрыты шаровые лавы. В нижней части они сложены крупными (до 1,5–2 м) глыбами и подушками, которые вверх по разрезу становятся мельче. Упаковка шаров плотная, межшаровые пространства выполнены халцедоном и кальцитом. В шарах и подушках хорошо выражено зональное строение: грубозернистый базальт в центре шара, переходящий к периферии в закалочную корку мелкозернистого базальта, имеющую миндалекаменное строение. Кроме круглых миндалин, отмечаются короткие полые газовые трубки. Характерно, что они всегда ориентированы вертикально (вверх), а не по радиусу шара. Видимая мощность шаровых лав около 10 м.

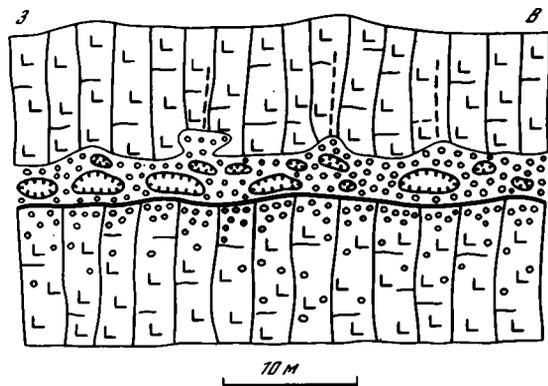
Шаровые лавы вверх по разрезу резко сменяются столбчатыми долеритами, с которых, очевидно, начинается следующий поток базальтов. Контакт с нижележащими шаровыми лавами ровный, лишь участками в самом основании столбчатых долеритов отмечаются небольшие (до 0,5 м) полости — отдушины, заполненные кальцитом. Местами в долеритах отмечается слабо проявленная ритмичная "слоистость", которая представлена лишь в нижней части потока, обнаженного в северном блоке, на протяжении 30–40 м от дайки на север. Затем она



резко обрывается, утыкаясь в долериты с неправильностолбчатой (переходной к глыбовой) отдельностью. По фронту утыкания наблюдается резкий изгиб "слоев" вверх и вниз (вплоть до вертикального); они как бы сминаются в движущемся потоке перед жестким препятствием (табл. XII, 3). Характерно, что к зоне сочленения "слоистых" и массивных базальтов приурочена мощная зона проницаемости, над которой локализовано воронкообразное тело, сложенное мандельштейнами.

В долеритах присутствуют многочисленные зоны проницаемости (сгущения газовых трубок), над которыми локализованы обычные воронкообразные тела мандельштейнов. Еще выше, над мандельштейнами залегают долериты с неправильной, слабо проявленной столбчатой отдельностью. Мощность потока около 30 м. Непосредственно над неправильностолбчатыми долеритами расположены плитчатые тонкозернистые светлые желтовато-зеленые туфы; мощность прослоя около 2 м. Над туфами обнажена нижняя часть верхнего потока (видимой мощностью около 5 м), представленная столбчатыми долеритами.

В южном, относительно опущенном блоке под горизонтом шаровых лав обнажены неясностолбчатые миндалекаменные долериты. Миндалекаменность заметно увеличивается вверх по разрезу, и непосредственно под шаровыми лавами базальты очень сильно насыщены миндалинами. Контакт миндалекаменных долеритов с толщей шаровых лав резкий, с тонкой (около 1 см) корочкой закалки, очевидно, принадлежащей уже подошве шаровых лав. Есть все основания считать этот



Фиг. 13. Обнажение правого берега р. Тембенчи в 1,5 км от ее устья
Условные обозначения см. на фиг. 1

контакт границей между потоками. Таким образом, миндалекаменные долериты представляют собой самый нижний из четырех потоков, вскрытых в разрезе.

Контакт миндалекаменных долеритов и шаровых лав неровный, с некоторыми воздыманиями и погружениями (амплитуда 2–5 м). Шаровые лавы наиболее отчетливо выражены в западинах (приурочены к погружениям контакта). Вообще в южной части обнажения шаровые лавы проявлены хуже, чем в северной. Они образуют постепенные переходы к неправильноглыбовым лавам (достаточно сложные соотношения шаровых лав с блоками пород, не имеющими шарового строения, описаны во второй главе). Бесформенные глыбы обладают некоторыми элементами подушек шаровых лав: в них развита мелкозернистая закалочная зона, имеющая миндалекаменное строение.

Контакт горизонта шаровых и глыбовых лав с вышележащими столбчатыми долеритами и мандельштейнами резкий и довольно ровный; по-видимому, он является границей между потоками.

Следующий вверх поток базальтов в южной части обнажения продолжает в смещенном блоке толщу базальтов, вскрытых в северном блоке. Он представлен долеритами, участками с мандельштейнами в основании, а также воронкообразными телами мандельштейнов в его средней части.

Таким образом, в обнажении вскрыты разнообразные по соотношению текстурных типов потоки базальтов. В частности, только в этом обнажении нами наблюдался поток, в котором полностью отсутствуют зоны, сложенные массивными базальтами (долеритами) и мандельштейнами; он представлен шаровыми и глыбовыми лавами, имеющими постепенные взаимные переходы.

Правый берег р. Тембенчи в 1,5 км от ее устья. Здесь в основании невысокого берегового обнажения (фиг. 13) вскрыты миндалекаменные долериты, совершенно аналогичные описанным в нижнем потоке предыдущего разреза; их ви-

димая мощность около 10 м. Очевидно, верхний поток, вскрытый в этом обнажении, является продолжением потока шаровых и глыбовых лав, однако его строение существенно иное. На миндалекаменных долеритах, резко обогащенных миндалинами в прикровлевой части потока, залегают мандельштейны с "плавающими" в них шарами и подушками размером 0,2–1 м, имеющими типичное для шаровых лав строение. Мандельштейны образуют хорошо выраженные купола, вдающиеся в вышележащие столбчатые долериты. Мощность мандельштейнов с шарами в среднем около 2 м. Перекрывающие их долериты пронизаны многочисленными газовыми трубками. Видимая мощность долеритов верхнего потока около 5 м.

* * *

Таким образом, шаровые лавы, развитые в эффузивных базальтах Тунгусской синеклизы, достаточно разнообразны; они различаются соотношением с другими текстурными типами базальтов, плотностью укладки шаров, характером межшарового выполнения и, наконец, степенью совершенства формы отдельностей самих шаров.

Можно выделить следующие разновидности геологических тел, образованных шаровыми лавами.

1. Шаровые лавы в основании потоков базальтов (скалы Сулова, реки Гончак, Поледжикит). По-видимому, этот тип распространен наиболее широко. Характерны хорошо развитые шары и подушки с радиальными трещинами отдельности, миндалекаменностью внешних зон и отчетливыми корочками закалки.

2. Шаровые лавы, в пределах единого потока ассоциирующие с глыбовыми лавами (обнажение в 5 км от устья р. Тембенчи). Характерны разнообразные, порой довольно сложные постепенные переходы шаровых и глыбовых лав, причем шаровые лавы наиболее отчетливо выражены над понижениями рельефа (прогнутыми участками подошвы потока). Этим шаровым лавам свойственна плотная укладка с незначительным содержанием межшаровой дресвы. Сами шары и подушки весьма несовершенны, сохраняют, как правило, угловатые очертания глыб и отличаются от глыбовых лав радиальной отдельностью и наличием закалочных корок.

3. Шаровые лавы в апикальных частях мандельштейновых куполов (скала на левом берегу р. Нижней Тунгуски против пос. Тура, обнажение на правом берегу Нижней Тунгуски в 35 км ниже пос. Тура и др.). По-видимому, это достаточно широко распространенная разновидность шаровых лав. Характерна тесная ассоциация с мандельштейнами. Шары, обычно весьма совершенно образованные, локализуются в апикальных частях мандельштейновых куполов, при этом межшаровое вещество частично представлено мандельштейном, очень сильно насыщенным миндалинами, постепенно переходящим к прикровлевой части купола в мелкую межшаровую дресву.

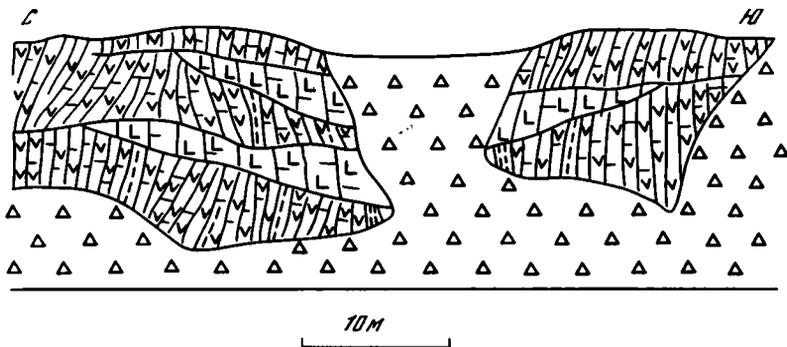
4. Наконец следует еще раз упомянуть единичные шары, отмеченные на сочленении кокардовых зон в обнажении на правом берегу р. Тембенчи близ устья р. Анаун.

Глыбовые лавы не характерны для базальтов нидымской свиты, вскрытых обнажениями по р. Тембенчи. Они появляются лишь в самых ее низовьях. Глыбовые лавы наиболее распространены в краевой части поля эффузивных базальтов по левобережным притокам р. Нижней Тунгуски.

ПОТОКИ АНАМЕЗИТОВ

Потоки анамезитов, как правило, мощные (до 30 м и более) и очень однородные по строению. Их зональность обусловлена лишь субгоризонтальными границами раздела, выше и ниже которых анамезиты характеризуются различным диаметром столбов и их разным наклоном. Однако в редких случаях в анамезитах наблюдаются небольшие (не более 1–3 м) шпирь и линзы настоящих мандельштейнов с минерализованными миндалинами (в устье ручья Самелки, пороги в верховьях р. Тембенчи, низовья левого притока р. Тембенчи — р. Дялингды). К сожалению, не удалось наблюдать мандельштейны в анамезитах в хорошем и полном обнажении, вследствие чего соотношения этих текстурных типов не совсем ясны.

В обнажении на правом берегу р. Кочечумо напротив устья р. Кондакан можно видеть соотношение анамезитов и грубостолбчатых долеритов (фиг. 14). Судя



Фиг. 14. Соотношение анамезитов и долеритов; р. Кочечумо, устье р. Кондакан
Условные обозначения см. на фиг. 1

по форме, долериты в потоке анамезитов локализованы в виде воронкообразных тел. Аналогичные соотношения обычно характерны для грубостолбчатых долеритов и мандельштейнов. В анамезитах в этом обнажении отмечаются газовые трубки, которые в других разрезах анамезитов не наблюдались.

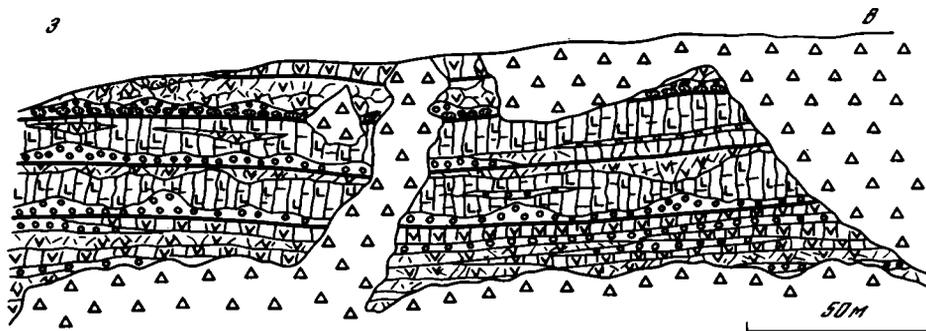
О ГРАНИЦАХ МЕЖДУ ПОТОКАМИ

Наши данные опровергают более ранние представления о малой мощности потоков базальтов нидымской свиты, их невыдержанности по простиранию и крайней неровности их границ, которые возникли в связи с отождествлением текстурных типов (зон) базальтов с отдельными потоками [Лебедев, 1955]. Более поздние представления о зональном строении потоков базальтов также не способствовали правильному определению границ потоков. Раньше считалось (да и сейчас считается), что в низах нидымской свиты потоки базальтов имеют двучленное строение: массивные базальты нижней и средней частей потока постепенно вверх переходят в мандельштейны, причем зона мандельштейнов может составлять до третьей части общей мощности потока.

Очевидно, присутствие мандельштейнов в кровле потока — лишь частный случай. Линзы и воронкообразные тела мандельштейнов локализируются, часто кулисообразно, на различных уровнях потока. Следовательно, кровлю потока по мандельштейнам определить нельзя. Другое дело — миндалекаменные долериты. В них, действительно, миндалекаменность постепенно возрастает вверх по разрезу потока и максимально насыщена миндалинами именно его прикровлевая часть.

Критериями при определении границ потоков могут служить следующие признаки.

1. Наличие прослоев туфов между потоками.
2. Мандельштейны основания потоков с их характерными куполами и четкой границей с вышележащими массивными базальтами. В том случае, если в нижней части потока локализованы мандельштейны с определенным набором признаков, их подошва совпадает с подошвой потока.
3. Шаровые лавы в основании потока. Подошва потока совпадает с подошвой шаровых лав.
4. Если сначала наблюдается постепенное увеличение (снизу вверх) миндалекаменности долеритов до максимальной, а затем резкая смена текстурного типа базальтов, это значит, что зона повышенной миндалекаменности соответствует кровле потока базальтов. Однако следует иметь в виду, что фиксируемая по этому признаку граница должна отчетливо прослеживаться на большом расстоянии, так как нередко миндалекаменность долеритов резко возрастает под местными (внутри потока) зонами газупоров.
5. Наконец, в ряде случаев (например, на скалах Сулова) удается четко проследить границу между потоками, представленными соответственно в прикровлевой и приподошвенной частях однотипными массивными базальтами. В этом случае граница определяется по маломощной (10–15 см), обычно с миндалинами, зоне закалки, принадлежащей и тому и другому потоку.
6. Не возникает сомнений в определении границы базальтов обычных текстурных типов с анамезитами.



Фиг. 15. Серия потоков базальтов; р. Гончак, в 8 км от ее устья
Условные обозначения см. на фиг. 1

Зарисовки обнажений позволяют сделать ряд выводов об общем строении потоков базальтов нидымской свиты.

1. Мощности потоков базальтов весьма велики (20–40 м); лишь в краевых частях поля эффузивных базальтов существенно понижаются (5–10 м).

2. Как правило, граница между потоками базальтов, независимо от контактирующих текстурных типов, ровная и спокойная. Исключение составляют глыбовые потоки, которые, очевидно, за счет нагромождения полузастывших глыб формируют крайне неровную кровлю потока. Соответственно перекрывающие потоки имеют неровное основание.

3. Шлаковые зоны в кровле потоков тунгусских базальтов не развиты; во всяком случае, отчетливые прикровлевые шлаки нами не наблюдались.

4. Несмотря на значительную пестроту строения, заключающуюся в быстрой смене как по мощности потоков, так и по латерали различных текстурных типов базальтов, потоки образуют в рельефе достаточно индивидуализированные и четкие ступени.

Как следует из описаний конкретных обнажений, нам не всегда удавалось наблюдать в одном разрезе и кровлю, и подошву потока. В ряде случаев в обнажении вскрыто до трех-четырех потоков. Уникальную возможность наблюдения сразу пяти потоков базальтов предоставило огромное обнажение по правому берегу р. Гончак, в 8 км от ее устья. Высота скалы достигает 80–100 м. К сожалению, непосредственное изучение всех вскрытых потоков базальтов в скальном выходе сопряжено с большой опасностью, в связи с чем нам пришлось ограничиться визуальным описанием потоков, границы которых очень четко выражены в ступенчатом рельефе скалы. Рисунок обнажения (фиг. 15) получен путем дешифрирования панорамной фотографии. Нижняя часть скалы засыпана осыпью, которая, очевидно, закрывает самый нижний поток основания нидымской свиты¹. Далее снизу вверх обнажены:

1. Относительно мощный (15–20 м) поток, имеющий слоистое строение и сложенный чередующимися массивными базальтами с линзами мандельштейнов, локализованных по системе газупоров.

2. Мощность следующего потока около 10–12 м. В нижней его части наблюдается довольно мощная зона мандельштейнов с развитыми куполами. Средняя часть разреза потока сложена массивными (столбчатыми) базальтами. В прикровлевых частях залегают воронкообразные тела, сопряженные по вертикали с мандельштейновыми куполами. Эти тела представлены базальтами с нарушенной (разваленной) столбчатой отдельностью. В средней части потока в массивных базальтах просматриваются мандельштейновые воронки.

3. Поток мощностью около 10 м также в основании сложен мандельштейнами, возможно, содержащими шаровые лавы. В массивной части потока наблюдаются линзы и воронкообразные тела, представленные или мандельштейнами, или базальтами с нарушенной столбчатой отдельностью. Возможно, массивная часть потока частично имеет глыбовое строение.

4. В основании следующего потока мощностью 8–10 м залегают шаровые лавы.

¹ В урзе воды р. Гончак обнажаются туфы корвунчанской свиты.

нап ними — мандельштейны, образующие купола, вдающиеся в массивную часть потока. В его прикровлевой части расположены воронкообразные тела, сложенные базальтами с нарушенной столбчатой отдельностью.

5. В верхней части обнажения открыто основание потока видимой мощностью 3—5 м, имеющего массивное (столбчатое) строение.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ГЕНЕЗИС ТЕКСТУРНЫХ ТИПОВ БАЗАЛЬТОВ

Многоициленные примеры показывают, что разнообразие текстурных типов базальтов можно объяснить главным образом взаимодействием базальтовой лавы с поверхностными водами. Об этом свидетельствуют региональность проявлений и характер взаимоотношений различных текстурных типов в разрезах. Эти взаимоотношения, безусловно, указывают на поступление воды в базальтовую лаву снизу в виде пара, образующегося при вскипании поверхностных вод различного происхождения — болот, ручьев, озер и т.д. Наша гипотеза принципиально отличается от существующей точки зрения на образование мандельштейновых зон в потоках базальтов. Напомним, что исследователи обычно связывают их формирование с насыщенностью лавы летучими. Например, обилие мандельштейнов в самых нижних потоках нидынской свиты объясняют тем, что первые порции лавы, излившиеся вслед за окончанием эксплозивной деятельности, были особенно сильно обогащены летучими [Дмитриев, 1973; Крестин, 1968]. Формирование миндалинов в эффузивных потоках всеми исследователями объясняется вскипанием лавы (при падении давления с выделением пузырьков газа, главным образом водяного пара). При этом подразумевается, что растворенные в лаве вода и другие летучие имеют ювенильное происхождение.

Следует отметить, что вопрос о взаимодействии воды с лавой в поверхностных условиях, т.е. при низких давлениях, теоретически не рассмотрен. Довольно многочисленные экспериментальные исследования посвящены растворимости воды в магме при высоких давлениях и температурах и решают в основном вопросы дифференциации магмы и механизма вулканических извержений.

О РАСТВОРИМОСТИ ВОДЫ В БАЗАЛЬТОВЫХ МАГМАХ И ЛАВАХ

Представляется целесообразным рассмотреть имеющиеся экспериментальные данные о растворимости воды в базальтовой магме и о содержании ее в природных базальтах.

По данным А.А.Кадика и др. [1971], растворимость воды в расплаве базальта увеличивается с ростом давления от 3,3 вес. % при 1000 атм до 11,1 вес. % при 6000 атм, ($T=1200^{\circ}\text{C}$). Рост температуры также приводит к увеличению растворимости воды в расплаве базальта. Так, при $P=5000$ атм растворимость воды растет с 7,3 вес. % при $T=1000^{\circ}\text{C}$ до 8,5 вес. % при $T=1200^{\circ}\text{C}$. Соответственно при $P=1000$ атм растворимость воды увеличивается от 2,4 вес. % (900°C) до 3,3 вес. % (1200°C). Данных по растворимости воды в расплаве базальта при $P < 1$ кбар, к сожалению, нет.

При движении магмы к поверхности давление падает и газовая фаза (главным образом водяной пар) начинает выделяться в виде пузырьков. По данным А.А.Кадика и др. [1971], вскипание основных магм ($T=1000-1200^{\circ}\text{C}$) происходит в зависимости от содержания воды на следующих глубинах: 10 вес. % — 20 км, 5 вес. % — 7,5 км, 3 вес. % — 3,3 км, 1 вес. % — 0,5 км. Таким образом, даже содержание всего 1 вес. % воды в магме ведет к ее пересыщению летучими в поверхностных условиях.

Попытка оценить содержание воды в лавах по ее содержанию в базальтах была предпринята Дж.Гиллули [Gilluly, 1937]. Используя данные о количестве конституционной воды из химических анализов базальтов в таблицах Кларка, Вашингтона и Дели, он получил среднее содержание H_2O^+ , равное 1,62%. Среднее содержание H_2O^+ в основных четвертичных лавах Камчатки и Курильских островов составляет 0,4% [Толстихин, 1961], в основных лавах Гавайских островов — 0,83% [Hamilton, Anderson, 1961]. По данным Ю.И.Дмитриева [1973], среднее содержание H_2O^+ в эффузивных трапах Тунгусской синеклизы составляет 1,22%, а по нашим данным (16 анализов) — 1,63%.

Определенно можно заключить, по крайней мере для тунгусских эффузивных базальтов, что количество H_2O^+ не отвечает содержанию остаточной ювенильной воды в лавах. По нашим представлениям, лавы тунгусских траппов как минимум дважды вступали во взаимодействие с водой после своего излияния на поверхность (не считая современного выветривания). Это описанное в настоящей книге взаимодействие с поверхностными водами, а также последующая региональная гидротермальная переработка (эпигенез), которая привела к формированию водных силикатов — смектитов и цеолитов, составляющих значительную часть объема пород. Очевидно, к первичному содержанию приближается минимальное количество H_2O^+ , присутствующей в анамезитах (0,60 вес. % по Ю.И. Дмитриеву и 0,95 вес. % по нашим данным), так как анамезиты меньше других типов базальтов подверглись воздействию поверхностных вод и последующих вторичных изменений.

Вероятно, цифра, полученная Дж. Гиллули, сильно завышена, так как им были статистически обчислены химические анализы разных базальтов, среди которых могли быть сильно измененные. Более правдоподобны оценки содержания первично воды по анализам молодых лав Камчатки, Курильских и Гавайских островов. Таким образом, возможное содержание ювенильной воды в лавах, если учесть приведенные сведения, а также экстраполяцию экспериментальных данных А.А. Кадика и др., по-видимому, составляет всего 0,3–0,8 вес. % (но не более 1 вес.%; при этом содержании лавы кипят на глубине 0,5 км).

Мы не обсуждаем влияние температуры на содержание первичной воды в лавах. Температура лав сохраняется высокой продолжительное время, а спад давления (по сравнению с глубинной магмой) происходит практически мгновенно.

ВЯЗКОСТЬ БАЗАЛЬТОВЫХ МАГМ И ЛАВ

Представления о вязкости базальтовых магм и лав чрезвычайно важны для понимания строения потоков базальтов. В общем случае их вязкость зависит от состава базальтовой магмы и ее температуры (табл. 2).

Т а б л и ц а 2
Вязкость (Π) сухих базальтовых расплавов при $P=1$ атм [Ритман, 1964]

Базальт	Температура расплава, °C		
	1150	1200	1300
Андезитовый	$8 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$2,6 \cdot 10^2$
Оливиновый	$9 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^2$

По данным А.А. Кадика и др. [1971], вязкость сухого базальтового расплава ~ $10^4 \Pi$. Количество растворенных летучих, в частности воды, очень сильно влияет на вязкость базальтовых расплавов. Так, при $T=1400^\circ\text{C}$ и растворении 4,5 вес. % H_2O вязкость около 15 Π , а при содержании 6 вес. % H_2O — всего 7–10 Π [Кадик и др., 1971].

Для понимания эволюции вязкости магмы в зависимости от насыщенности летучими большое значение имеет концепция Джаггара [Ритман, 1964], согласно которой различаются следующие состояния магмы.

1. Недосыщенная газом гипомагма, которая может существовать при давлениях, больших, чем давление пара молекулярно растворенных газов.
2. Пересыщенная газом пузыристая или даже пенистая пироматма.
3. Сильно дегазированная эпимагма, по существу идентичная лаве, но не излившаяся или еще не излившаяся.

Для нас большое значение имеет оценка А. Ритманом вязкости пироматмы: "... при равных температурах и давлениях вязкость пироматмы намного меньше, чем вязкость отвечающей лавы, лишенной газа. В действительности можно было много раз наблюдать, что прорывающаяся пироматма очень жидка, поэтому ее течение можно сравнить с течением воды ($\eta=0,01 \Pi$)" [Ритман, 1964, с. 250].

Были предприняты многочисленные попытки определения вязкости базальтовых лав, детально рассмотренные и обобщенные в монографии И.В. Лучичко [1971]. Не вдаваясь в детали весьма сложной теории движения лав, отметим, что использование одних и тех же данных о скорости движения потока, угле на-

клона, глубине, удельном весе и т.д. приводило исследователей к совершенно различным представлениям о вязкости лав в зависимости от понимания физической природы течения лав и примененных формул. Так, Х.Пальмер [Palmer, 1927], используя формулу для турбулентного движения жидкости, рассчитал, что вязкость базальтового потока Элайк на Гавайских островах всего в 15 раз превосходит вязкость воды. Р.Никольс [Nichols, 1939] пришел к выводу о ламинарном движении потоков базальтов и использовал для расчетов вязкости того же потока Элайк соответствующие формулы. Он получил вязкость лав $4,3 \cdot 10^4$ П, что примерно в 287 000 раз превышает величину, вычисленную Х.Пальмером, и несколько превышает экспериментальные данные о вязкости сухих расплавов базальтов.

Результаты определений вязкости потоков вулкана Мауна-Лоа, опирающихся на представления об их ламинарном течении и об отличиях между обычными жидкостями и лавами [Wentworth, 1954], были обобщены Г.Макдональдом [MacDonald, 1963]. По его данным, вязкость гавайских лав колеблется от $2,0 \cdot 10^3$ до $1 \cdot 10^5$ П. Вязкость лав, по Г.Макдональду, увеличивается при удалении от жерла вследствие остывания и потерь газов. На вязкость сильно влияют растворенные газы. Так, потоки с температурой 1050°C могут стоять почти неподвижно, тогда как другие потоки с температурой на 100° ниже могут обладать значительной подвижностью. Попытки прямого инструментального определения вязкости лавы также рассмотрены в работе И.В.Лучицкого [1971]. Заканчивая свой обзор, он приходит к выводу, что сейчас мы располагаем весьма ограниченными данными о вязкости природных лав.

ОБЩАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ СТРОЕНИЯ ПОТОКОВ БАЗАЛЬТОВ

Из приведенных данных видно, насколько сложны физико-химические параметры движущей лавы, в конечном счете ответственные за то строение потоков базальтов, которое нам удается наблюдать.

Имеется работа К.Вентворса [Wentworth, 1954], посвященная физике лавы. В монографии И.В.Лучицкого [1971] содержится прекрасное изложение этой работы, которое уместно процитировать здесь полностью: "... Вентворс... обратился к проблеме различий между обычными жидкостями, в частности водой и лавами. Он подчеркнул значение ряда факторов, осложняющих течение лавы, например вследствие остывания лавы и выжимания ее по трещинам из внутренних частей потока и т.п. По его мнению, лава представляет весьма несовершенную жидкость, и так как в ней отсутствует гомогенность (она состоит из смеси жидкой, газообразной и твердой фаз), то она не подчиняется непосредственно широко известным законам гидростатики и гидродинамики в той форме, в которой они приложимы к поведению воды. На ранних стадиях, пока лава богата растворенными в ней газами, она обладает свойствами жидкости. Однако с появлением пузырьков газа она становится неоднородной, а с потерей газов ее вязкость возрастает. Вероятны также и другие изменения, связанные с образованием кристаллов. Когда лава остывает и частично отвердевает, масса ее приобретает гетерогенность в течение весьма короткого промежутка времени. Значительную роль в общем поведении лав играют также процессы теплообмена с окружающей средой и внутренние конвекционные процессы.

Одним из наиболее существенных различий между водой и лавой следует считать, по Вентворсу, снижение текучести вдоль стенок вследствие не трения, а температурных различий между краевыми и центральными частями лавового потока, достигающих 200° . Остывание краев лавового потока ведет к его отвердеванию, сужению канала, а также к обмелению, вследствие чего возникают весьма серьезные различия между течением воды и лавы.

По Вентворсу, базальтовые лавы на Гавайях текут и застывают на склонах, имеющих уклон 10–20% (примерно $6-12^\circ$), а в случае кислых лав других районов застывание происходит при уклонах до 20° . Имеется предел ширины устойчивого потока лавы, обусловленный местоположением источника извержения и тепловой экономией. Между глубиной и шириной потока тоже, по-видимому, есть определенная зависимость, поэтому в формировании лавового потока и скорости его течения тепловая энергия играет существенную роль наряду с механической.

Движение потока жидкости на поверхности приводит к образованию мокрого периметра, горячая жидкость вследствие остывания дает тепловой периметр. Мокрый периметр определяется положением дна и стенок, а контакт воды с воздухом не входит в состав мокрого периметра и оказывает малое влияние на тре-

ние. В случае теплового периметра лавового потока лавовоздушный контакт представляет поверхность, которая не выпадает из теплового периметра, так как через нее осуществляются потери тепла. Для воды доказано, что эффективен канал, у которого смачивающий периметр имеет ширину, равную глубине, т.е. округлый. Наименьшая потеря тепла наблюдается в канале с шириной, равной глубине. Вследствие главных потерь через воздух возможно некоторое усложнение формы, вследствие чего оптимальный канал должен быть более глубоким и менее широким, чем при учете обычных гидравлических соображений. Таким образом, по Вентворсу, лавы более сходны с ледниками, имеющими экономичную форму по отношению к тепловым потерям. Ледники соответственно имеют толстые края и значительную мощность, что отличает их от потоков воды" [Лучицкий, 1971, т. 1, с. 180–181].

Представления о физических свойствах текущих базальтовых лав развиты Вентворсом и другими исследователями на примере базальтовых потоков щитовых вулканов Гавайских островов. Для нас более важны грандиозные извержения трещинного типа, известные в историческое время (на суше) только в Исландии. Приведем краткое описание извержения вдоль трещинной зоны Лаки (1783 г.), также заимствованное из книги И.В.Лучицкого [1971]. После землетрясений это извержение началось сильными эксплозиями, сопровождавшимися огромными пепловыми тучами. Жидкая лава изливалась из 22 жерл вдоль 15-километровой трещины. Лавовый поток заполнил долину р. Скафтау глубиной 150–200 м, при этом он достиг длины 75 км. Лава распространилась по окружающей равнине, где поток приобрел максимальную ширину 18–22 км при средней мощности 30 м. Позже лавовым потоком была заполнена долина р. Хвервисфлюот; поток имел протяженность около 60 км и ширину 10 км. Общий объем лавы при извержении Лаки составил 12 км³.

Описание трещинного извержения Лаки требует некоторых комментариев, так как по своим масштабам (мощность и протяженность потоков) оно отвечает одному из циклов вулканической деятельности на Тунгусской синеклизе. Огромная ширина потоков (до 22 км) по сравнению с гораздо более узкими (2–3 мили) гавайскими потоками, несомненно, свидетельствует о том, что лавы исландского типа были более жидкими. Лавовое фонтанирование, отмечаемое, кстати, в начале извержений всех исландских вулканов, вызвано бурным вскипанием магмы в связи с резким падением давления. Таким образом, в соответствии с концепцией Джаггара, к началу излияния потока лава была уже сильно обеднена летучими.

Имеются прямые указания на активное взаимодействие лавовых потоков с поверхностными водами. Так, А. Ритман [1964, с. 89], писал: "Если лавовые потоки текут по болотистой местности, по прудам или по источникам, то это часто приводит к более или менее сильным фреатическим взрывам, высоко выбрасывающим глыбы лав и шлаки, которые могут накапливаться в виде маленьких "бескорневых" конусов-кратеров. Тораринсон указывал, что бесчисленные маленькие вулканы на берегу и на самом о-ве Мивати ("Комарино озеро") в Исландии представляют собой такие фреатические насыпные конусы, образовавшиеся во время эффузивного линейного извержения Тренгслаборгира".

А. Уотерс [1963] описал крупные полости — отдушины и трубчатые пустоты в основании потоков базальтов р. Колумбии, которые, по его мнению, произошли за счет вскипания воды из влажного основания под движущейся лавой. Важно отметить, что верхние концы газовых стволов и труб обычно изгибаются в направлении движения лавы. Трубчатые пустоты и пористые цилиндры (газовые трубки, зоны проницаемости в нашем изложении) отмечены еще А. Дю Тойтом [Toit, 1907] в базальтах Южной Африки. Эти трубки также объясняются прорывом лавы парами, образовавшимися в результате воздействия раскаленных лав на водонасыщенные отложения, подстилающие лавовые потоки.

В свете изложенных данных обратимся к анализу основных особенностей потоков тунгусских эффузивных траппов. Нам неизвестно никаких указаний на вытянутую в каком-либо направлении форму этих потоков. Напротив, они формируют широкие площадные покровы, прекрасно картируемые благодаря ступенчатому рельефу. При этом угол наклона некоторых потоков составляет всего 1'12" [Дмитриев, 1973]. Это, несомненно, свидетельствует о том, что лавы были очень жидкими.

Малая вязкость лав подтверждается и ровным, спокойным характером контактов потоков, отсутствием ярко выраженных шлаково-глыбовых зон в основании и кровле потоков. Исключение составляют глыбовые лавы, встречающие-

ся в краевых частях лавового поля. В ряде случаев в латеральном направлении удается проследить переход в обнажениях (по характеру сочетания текстурных типов) от более вязких к менее вязким разностям (к моменту остановки потока). Очевидно, более вязкие (глыбовые) лавы соответствовали фронтальным частям потока, растекавшегося в различных направлениях.

Извержения тунгусских базальтов носили, несомненно, трещинный характер; вероятно, начало их сопровождалось лавовым фонтанированием, потерей ювенильных газов, в том числе и паров воды. Если прав А.Ритман, приравнивающий вязкость пенистой пиромогмы к вязкости воды, то такая потеря происходила практически мгновенно. Можно, конечно, предположить, что часть ювенильных газов, выделившаяся в пузырьки, транспортировалась истекавшей лавой. Однако даже если вязкость лавы в непосредственной близости от аппарата быстро поднялась, скажем, до вязкости глицерина (около 8 П), то для выхода достаточно крупных (около сантиметра) пузырьков газа потребовались бы считанные часы. Вряд ли имеет смысл точный расчет скорости подъема пузырьков газа в потоке лавы, так как сведения о ее вязкости более чем неопределенны. В конечном счете не так уж важно, остались ли в движущейся лаве пузырьки ювенильного газа или же они полностью заменились на пузырьки, сформированные вследствие вскипания поверхностных вод под движущимся потоком. Более существенно то обстоятельство, что количество вновь поступившей из подстилающих отложений воды было неизмеримо больше по сравнению с ее содержанием в момент начала истечения лавы.

Для доказательства этого положения обратимся к весьма существенной детали строения текстурных элементов тунгусских базальтов, связанных с фреатическими явлениями, а именно к отсутствию их изгибания в направлении движения потоков. Действительно, газовые трубки и зоны проницаемости всегда ориентированы почти строго вертикально. Мандельштейновые купола, очевидно, занимающие то же структурное положение в потоках тунгусских базальтов, что и отдушины А.Уотерса, если и имеют асимметрию, то разнонаправленную в пределах одного обнажения. Явную разнонаправленность, чаще всего веерообразную, имел и развал столбчатой отдельности, часто наблюдающийся в прикровлевых частях потоков. Словом, на примере тунгусских базальтов нам не удалось наблюдать признаков, указывающих на направленное движение потоков, так прекрасно описанных в покровных базальтах Колумбии А.Уотерсом [1963].

Из этого можно сделать только один вывод: текстуры тунгусских базальтов, обусловленные проникновением в них паров воды из подстилающих отложений, сформировались лишь после остановки потока (исключение составляет "слоистость" базальтов). При этом следует учитывать, что мы наблюдаем в обнажении только конечную закалочную картину. Это означает, что количество газовых пузырей, которое прошло через определенное сечение мандельштейнов, или количество паров воды, прошедшее через сечение газовой трубки, значительно больше по сравнению с современным суммарным объемом пор в базальтах.

Если и в статическом положении, после остановки потока, из ограниченного по объему "резервуара" воды под подошвой потока через его сечение проходило большое количество пара, то как же велико оно должно быть на всем пути следования потока, если учесть, что длина потоков тунгусских базальтов достигает 90 км? Возможно, за время движения потока поступавшие в него все новые и новые порции водяного пара успевали обновиться несколько раз. Уместно поставить вопрос: не являлось ли постоянное обилие пузырьков паров воды причиной аномальной жидкости лавы и как следствие — ее растекания на огромных площадях? Имеются многочисленные указания (та же концепция пиромогмы) на то, что низкая вязкость магмы обусловлена не только количеством растворенных летучих (напомним, что гипомagma Джаггара имеет низкую вязкость до вскипания), но и пенистой консистенцией, обилием пузырьков газа. Наши многочисленные наблюдения свидетельствуют о высокой (по сравнению с массивной частью потока) подвижности мандельштейновой фракции лавы, несмотря на ее заведомо пониженную температуру в результате охлаждения парами воды.

Полное решение поставленного вопроса, очевидно, будет возможно лишь при сравнительном анализе строения и формы потоков базальтов гумидных и аридных областей. Частично же мы к нему вернемся ниже, при обсуждении генезиса "слоистых" лав.

Важно подчеркнуть еще одно обстоятельство: проникновение паров воды вряд ли приводило к их сколько-нибудь заметному растворению в лаве. Мы предположим, что количество растворенной воды в лаве оставалось на уровне 0,3—

0,8 вес. %. В этом состоит основное отличие нашей концепции: мандельштейны и миндалекаменные базальты возникали не в результате кипения лав, как считали предшествующие исследователи, а наоборот, в результате прохождения через весь поток, снизу доверху, паров воды без существенного растворения ее в базальтовой лаве.

Представление о малой растворимости внедряющихся паров воды в лаве основано на следующих соображениях. Можно предположить, что резкое вскипание воды в "котлах" под потоком базальтов развивает столь высокое давление, что становится возможным растворение пара в базальтовом расплаве. Однако это давление не так уж велико и его можно оценить. Рассмотрим стандартный случай: поток, сложенный массивными столбчатыми долеритами, под которыми локализованы мандельштейновые купола. Мощность долеритов над мандельштейнами примем в 30 м. Так как плотность базальтов менее 3 г/см^3 , то давление на кровлю мандельштейновых куполов составляет около 10 атм. Корка закалки в кровле мандельштейнов — это своеобразная мембрана, которая в результате повышения суммарного давления в мандельштейнах выпирает вверх. Следовательно, в этом случае суммарное давление в мандельштейновой фракции лавы несколько превышает 10 атм (избыточное давление) и регулируется на этом уровне за счет истечения водяного пара вверх по газовым трубкам. Если избыточное давление в мандельштейнах значительно, то образуются фреатические прорывы, но это явление наблюдается гораздо реже, чем мандельштейновые купола.

Повышение давления всего до 10 атм ($\sim 0,01$ кбар) не может привести к существенному увеличению растворимости паров воды в базальтовом расплаве. Если мы, например, проэкстраполируем данные А.А.Кадика и др. [1971] о растворимости базальтов (при $T=1000^\circ\text{C}$: 1000 атм — 2,1 вес. %, 2000 атм — 3,8 вес. %, 3000 атм — 5,7 вес. %) на увеличение давления до 10 атм, то получится прирост растворимости воды в базальтах всего на 0,04%. Такой величиной вполне можно пренебречь, и мы вправе считать, что в движущейся лаве с момента излияния до остановки потока содержится постоянное количество воды в растворенном состоянии, несмотря на внедрение в расплав значительных масс воды в виде пара¹.

Используя представления о давлении в массе мандельштейнового расплава, можно попытаться грубо оценить плотность водяного пара в газовом пузырьке. Давление, несколько превышающее 10 атм, — это суммарное гидростатическое давление всей массы, состоящей из базальтового расплава и пузырьков водяного пара. Можно предположить, что давление в пузырьках несколько выше. Пузырьки в массе лавы способны к расширению, и поскольку это расширение изотермично, т.е. с постоянным подтоком тепла, то каждый пузырек, не встречая сопротивления, мог бы занять сколь угодно большой объем. На самом деле диаметр миндалин не превышает 1–2 см. Расширяющийся пар не может преодолеть сопротивления поверхностного натяжения в жидкости с повышенной вязкостью, а главное, в результате быстрого охлаждения оболочка газового пузырька становится значительно более вязкой, чем окружающая лава. В пузырьке пара возникает избыточное (по отношению к базальтовому расплаву) давление. Предположим, вероятно, с большим завышением, что оно превышает суммарное давление в мандельштейновой массе на порядок, т.е. составляет около 100 атм. И в этом случае плотность водяного пара в пузырьке относительно невелика — всего $\sim 0,05 \text{ г/см}^3$. Насыщенность мандельштейнов миндалинами составляет до 40% и более по объему. Поскольку плотность воды в 20 раз больше, чем принятая плотность пара, то такую насыщенность миндалинами могут создать 2 об. % или $\sim 0,65 \text{ вес. \% H}_2\text{O}$, внедренной в расплав базальта. Следовательно, даже учитывая, что нами принята явно завышенная плотность водяного пара в газовых пузырьках, можно сделать вывод, что относительно небольшое количество воды может привести к формированию мандельштейнов и других структурно-текстурных фреатических проявлений.

И, наконец, вопрос, требующий предварительного обсуждения, — это стадильность и фациальная приуроченность текстурно-структурных типов тунгусских эффузивных базальтов.

В третьей главе было показано, что "слоистость" базальтов зарождается еще в движущемся потоке и по времени опережает формирование других текстурных

¹ Увеличение растворимости воды, вероятно, становится возможным к конечной стадии застывания лавы.

тигов. Начало образование "слоистости" соответствует первому этапу формирования текстур базальтов. Остальные текстуры фреатического происхождения возникают, как мы уже подчеркивали, после остановки потока. При этом в лавах относительно жидких и относительно вязких (краевые части потока) формируются разные сочетания текстурных типов базальтов.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ "СЛОИСТОСТИ" БАЗАЛЬТОВ

Напомним, что "слоистость" присутствует только в столбчатых долеритах. Как более плотные, так и менее плотные слои характеризуются идентичной структурой и размерностью зерен, а также одинаковой первичной минералогией. Отличие состоит в том, что в менее плотных слоях отмечаются поры, выполненные кальцитом, в более плотных слоях кальцит совершенно отсутствует, но зато участками сохранился стекловатый мезостазис, не полностью замещенный смектитом. "Слоистость" отличается только в центральных частях потоков и отсутствует в приподошвенных и прикровлевых зонах.

Следующие данные свидетельствуют об относительно раннем происхождении "слоистости". В одних случаях как менее плотные, так и более плотные слои пересекаются следами прохождения газовых струй — пористыми цилиндрами, в других — в зоне сгущения газовых трубок наблюдается задирание сверху более плотных слоев. Нами описано облекание "слоями" мандельштейновых куполов, свидетельствующее о пластической деформации "слоистости". Наконец, описанное в одном из обнажений на р. Тембенчи утыкание "слоистости" в базальты с глыбово-столбчатой отдельностью (очевидно, более вязкие), с резким разворотом слоев вверх и вниз, несомненно, свидетельствует о том, что эта текстура зародилась не только до основных фреатических проявлений, но и до остановки потока. Все эти факты указывают на то, что "слоистость" существовала еще в жидкой движущейся лаве потока.

Мы уже упоминали, что многие исследователи [Nichols, 1939; Wentworth, 1954] считают течение лавы ламинарным. При этом отмечается, что лава является сложной, неоднородной массой, значительно отличающейся от обычной вязкой жидкости. В постепенно охлаждающейся, но еще движущейся лаве, вероятно, были участки как более вязкие, так и менее вязкие, подвижные. Внутренняя структура движущейся лавы осложнялась также присутствием пузырьков паров воды, захваченной движущимся потоком из подстилающих отложений. Эти пузырьки в движущемся потоке были распределены неизвестным нам образом, но, очевидно, неравномерно. На этих исходных данных построена предлагаемая нами гипотеза, которая, как нам кажется, удовлетворительно объясняет возникновение этой чрезвычайно интересной текстуры базальтов.

Ламинарное течение обычно описывается для обычной жидкости как движение одних ее слоев относительно других без вихревого перемешивания. Замечено, что в вязких жидкостях движение остается ламинарным при более высоких скоростях, чем в текучих жидкостях. Если, например, в ламинарно движущуюся жидкость влить чернила, то они растянутся вдоль потока. Вероятно, такое растягивание в движущейся лаве должны были испытывать участки, неоднородные по вязкости и по насыщенности пузырьками пара. При этом, как мы уже отметили, в насыщенной пузырьками пара лаве вязкость резко понижена и соответствующие слои ее могли двигаться быстрее. По закону Бернулли в этих слоях происходило относительное падение давления, приводившее к миграции (отсасыванию) пузырьков пара из более вязких и менее насыщенных паром слоев. Это в свою очередь приводило к еще большему понижению вязкости паронасыщенных слоев и к ускорению их движения, сопровождавшемуся новым падением давления и дальнейшим отсосом паровой составляющей из более вязких слоев. Так, очевидно, происходит глубокая дифференциация, в результате которой в охлаждающейся, но еще жидкой лаве во время ее движения четко обособляются слои, отличающиеся по вязкости и насыщенности пузырьками газа. В дальнейшем, после остановки потока, более вязкие слои играли роль газопупоров, препятствующих подъему в лаве пузырьков пара, и обусловили слоистое распределение мандельштейнов и другие текстурные горизонтальные неоднородности в потоках тунгусских базальтов.

В застывшей лаве слои с повышенной пористостью и соответственно проницаемостью подверглись воздействию эпигенетических растворов, которые привели к сильной смектитизации стекла и заполнению пор кальцитом. Напротив, слои с низкой пористостью оказались настолько малопроницаемыми, что в них участ-

ками сохраняется интерстиционное стекло, что, вообще говоря, редко отмечается в тунгусских базальтах.

Пористые слои оказались менее устойчивыми к выветриванию, которое и выявило описанную слоистую текстуру в обнажениях. Необходимо отметить, что в одних потоках "стойкость" проявлена чрезвычайно резко и эффективно (см. табл. II, 1, 2), тогда как в других она едва заметна. Вероятно, степень дифференциации при ламинарном течении лавы была различна, что, возможно, зависит от разных количеств воды, внедрившейся в движущуюся лаву из обводненных подстилающих отложений.

Если предположенная нами гипотеза выдержит проверку временем, то будет целесообразно заменить чисто описательный и неподходящий для базальтов термин "слоистость" на генетический термин "ламинарность".

ГЕНЕЗИС МАНДЕЛЬШТЕЙНОВ И МИНДАЛЕКАМЕННЫХ БАЗАЛЬТОВ

Изложенные выше данные свидетельствуют о том, что мандельштейны формируются главным образом за счет вскипания поверхностных вод, по которым движется лавовый поток, и прохождения пузырьков пара через всю массу лавового потока снизу доверху. Это положение доказывается своеобразными зональными системами: мандельштейновые купола—зоны проницаемости—мандельштейновые воронки, а также наличием фреатических прорывов, являющихся частным, наиболее ярко выраженным случаем этих систем. Такие системы могли сформироваться лишь в результате прохождения пара в виде пузырьков через все тело потока снизу доверху, при этом строение нижних мандельштейнов свидетельствует о том, что они были наиболее насыщены парами воды.

Обилие паровой фазы в нижней части потока существенно изменило свойства лавы. Нижние мандельштейны были заметно холоднее вышележащих массивных долеритов; последние обычно отделены от мандельштейнов отчетливой зоной закалки, повторяющей сложные конфигурации мандельштейновых куполов. Нижний же контакт мандельштейнов лишен зоны закалки. В обнажении правого берега р. Нижней Тунгуски, в 8 км ниже пос. Нидым вскрыт контакт нижних мандельштейнов с подстилающими туфами. Мандельштейны непосредственно на контакте с туфами имеют обычное строение, зона закалки отсутствует. Это свидетельствует о том, что к моменту застывания мандельштейнов подстилающие туфы прогрелись почти до той же температуры, что и лавы.

Несмотря на более низкую температуру, лава нижних мандельштейнов имела меньшую вязкость по сравнению с лавой, за счет которой сформировалась массивная часть потока. Об этом свидетельствуют многочисленные случаи клиновидного проникновения мандельштейнов в массивные долериты. Более того, мандельштейновая лава дольше оставалась жидкой. Во второй главе описан мандельштейновый купол, в котором отмечены "плавающие" в массе мандельштейна блоки массивных пород, в том числе и обломки корки закалывания, сформированной на границе массивной части потока с мандельштейнами. Подобная картина наблюдалась на скалах Сулова. Здесь в мандельштейнах отмечаются оторженцы массивной части потока, "утонувшие" в их массе. Это, безусловно, свидетельствует о том, что к моменту застывания массивной части потока в мандельштейнах кристаллизация еще не закончилась. В то же время мандельштейны были уже достаточно вязкими, так как оторженцы не достигли подошвы потока.

Очевидно, следует объяснить, почему проникновение паров воды через подошву потока происходило в виде относительно мелких пузырей, а не в виде объемных масс пара, выдуваемых в лаве полости — отдушины, как, например, в базальтах Колумбии [Уотерс, 1963]. Пузыристая же масса мандельштейнов, по нашему мнению, образуется в специфических, но достаточно часто встречающихся (для тунгусских базальтов) условиях. Типичные нижние мандельштейны с характерными куполами обычно залегают на туфах. Чаще всего они отмечаются на границе нижнего потока нидымской свиты с подстилающими туфами корвунчанской свиты. Если даже контакт с туфами не вскрыт, то в мандельштейнах обычно отмечаются многочисленные включения и диатремы туфового состава, несомненно, указывающие на близость подстилающих туфов.

Очевидно, при прогреве туфов имело место диффузное вскипание воды в самих туфах; поднимающиеся вверх струйки пузырьков пара свободно проходили через границу туф—лава и насыщали нижнюю часть потока базальтов. На возможность такого процесса указывают следующие факты. Во-первых, в подстилающих лавовые потоки туфах нередко отмечаются миндалины, описанные еще

А.П.Лебедевым [1955]. Во-вторых, на скалах Сулова тонкозернистые туфы, подстилающие поток базальтов, имеют характерную, концентрически-скорлуповатую отдельность, несомненно, указывающую на быстрое изменение их объема в результате осушения раскаленной базальтовой лавой. Эта отдельность вниз по разрезу туфов (от контакта с базальтами) исчезает.

Обязательным условием формирования типичных нижних мандельштейнов является достаточно низкая вязкость всего лавового потока в данной точке к моменту его остановки. Очевидно, кристаллизация лавы еще только начиналась. Об этом свидетельствуют глубокие различия структур нижних мандельштейнов и перекрывающих их массивных базальтов.

Обилие паровой фазы в виде пузырьков в мандельштейновой фракции лавы повышало ее внутреннее давление, что приводило к формированию характерных вздутых, куполов, глубоко вдающихся в массивную часть потока. Быстрый подъем массы пузырьков пара способствовал столь же быстрой миграции вверх фронта охлаждения. Достигнув определенного уровня в потоке, этот фронт мандельштейнизации вызвал формирование закалочной зоны в вышележащей части потока, которая, являясь газупором, препятствовала дальнейшему свободному подъему пузырьков пара.

Закалочная зона в основании массивной части потока во многих местах прорвана полыми газовыми трубками, которые в массивных базальтах продолжают в виде вертикальных пористых цилиндров диаметром 1–3, редко до 10–15 см, являющихся закалочной картиной следов прохождения паровых струй через объем неизменной мандельштейнизацией части потока.

Доходя до газупора, которым могли служить более вязкие слойки, впоследствии сформировавшие "слоистую" текстуру базальтов, или же (в частном случае) до верхней закалочной зоны потока базальтов, пузырьки газа распространялись в стороны от зоны проницаемости, формируя характерную воронковидную форму тел верхних мандельштейнов. Как уже отмечалось, нижний контакт верхних мандельштейнов с массивными базальтами постепенный и осуществляется через зону миндалекаменных базальтов (см. фиг. 3). Верхний контакт мандельштейнов с газупором резкий. Сами же мандельштейны по структуре ничем не отличаются от нижних. Это свидетельствует о том, что пар, проникший в верхние части потока базальтов через зоны проницаемости, вызвал столь же глубокие изменения свойств базальтовой лавы, как и в нижней части потока.

Приведенные рассуждения о генезисе мандельштейнов относятся к идеальной системе мандельштейновые купола–зоны проницаемости–мандельштейновые воронки, на самом деле достаточно часто встречающейся в тунгусских базальтах. Вместе с тем нередко наблюдаются различные отклонения от этой схемы. В частности, в главе третьей приводится описание зоны миндалекаменных базальтов, локализованной между нижними мандельштейнами и газупором на контакте с массивными базальтами (см. фиг. 5). Такого рода отклонения могут объясняться многими причинами, главными из которых, как нам кажется, являются различная вязкость потока к моменту его остановки в данной точке и неодинаковая водонасыщенность подстилающих пород.

Последнее положение иллюстрируется нашими наблюдениями в обнажении правого берега р. Нижней Тунгуски в 8 км ниже пос. Нидым. Здесь при движении с запада на восток уровень контакта потока базальтов с туфами корвунчанской свиты понижается от 30–35 м над урезом воды до 10–15 м на расстоянии всего 100 м, что, безусловно, свидетельствует о неровности рельефа, перекрываемого потоком базальтов. В пониженной части рельефа развиты типичные мандельштейновые купола, а на "горке" туфы непосредственно перекрываются массивными базальтами. Очевидно, на возвышенностях туфы хорошо дренировались и контакт базальтов с ними не мог вызвать формирование мандельштейнов.

Миндалекаменность в долеритах, по нашему мнению, также возникала в результате диффузного вскипания воды в подстилающих туфах, однако пузырьки пара проникли уже в частично раскристаллизованную, относительно вязкую лаву. Это подтверждается структурными соотношениями, свидетельствующими, что пузырьки пара с трудом пробивали себе путь наверх в каше микролитов плагиоклаза. В этих условиях фронт мандельштейнизации, существенно меняющий свойства лавы, не возникал и она кристаллизовалась обычным способом — с формированием пойкилофитовых структур и грубостолбчатой отдельности.

Поднимавшиеся пузырьки пара скапливались в прикровлевой части лавового потока, под верхней закалочной зоной; насыщенность этой части потока миндалитами бывает очень высокой. Здесь же отмечаются субгоризонтальные трещины

отслоения, выполненные впоследствии вторичными минералами, свидетельствующие о сильной усадке базальтов в результате изменения объема после конденсации пара. Вероятно, также формируются миндалекаменные базальты с интерсертальной структурой, наблюдавшиеся нами по левобережному притокам р.Нижней Тунгуски.

Таким образом, главная роль в формировании мандельштейнов и миндалекаменных базальтов принадлежит поверхностным водам, насыщавшим подстилающие туфы и диффузно вскипавшим при контакте с лавами. Мы не отрицаем полностью роли объемной дегазации самих базальтовых лав. Вероятно, в процессе их охлаждения часть газов, в том числе и паров воды, выделилась в виде пузырьков. Однако приведенный материал свидетельствует о том, что не этот процесс определил своеобразное зональное распределение текстурных типов пород в потоках базальтов.

ФОРМИРОВАНИЕ ОТДЕЛЬНОСТИ И СТРУКТУР МАССИВНЫХ БАЗАЛЬТОВ

Рассмотрим сначала столбчатые долериты – породы, наиболее распространенные среди эффузивных базальтов Тунгусской синеклизы и слагающие, как правило, массивные части сложно построенных зональных потоков. Они имеют характерную крупнозернистую пойкилоофитовую структуру и грубостолбчатую отдельность. Почти всегда в долеритах наблюдаются обильные газовые трубки (пористые цилиндры), за исключением описанного выше случая миндалекаменных долеритов. Для этих пород парадоксальным является сочетание крупнозернистой структуры (размер выделений пироксена, переполненных микролитами плагиоклаза, достигает 5 мм) с обилием измененного стекла в интерстициях (см. табл. 1, 2). Стекло обычно замещено смектитами, составляющими до 30–40% объема породы. Иногда устанавливаются реликты стекла, не замещенные глинистыми минералами. Д.И.Кудрявцев [1979] провел предварительное изучение интерстиционного стекла долеритов и пришел к выводу о значительном содержании в нем воды. Собственно говоря, это уже не стекло, а фаза, по составу и строению напоминающая палагонит.

Эти факты позволяют предположить, что формирование структуры долеритов происходило следующим образом. Через зону потока, из которой впоследствии раскристаллизовались долериты, на протяжении значительного времени проходили паровые струи. Как показывают наблюдения, пузырьки в пористых газовых трубках "расталкивают" кашу микролитов плагиоклаза, но безразличны к крупным кристаллам пироксена. Как уже отмечалось, растворимость воды в полностью расплавленной лаве не может быть большой. Но в конце кристаллизации, когда уже обособились микролиты плагиоклаза, вода, по-видимому, могла входить в начинавшее отвердевать стекло. Постоянное обилие летучих стимулировало рост очень крупных кристаллов пироксена и вместе с тем сделало невозможным кристаллизацию магматических минералов из остаточного расплава, который к концу кристаллизации был представлен гелеобразным продуктом – сильно обводненным стеклом. Последнее могло служить лишь субстанцией для кристаллизации водосодержащих силикатов (смектитов), которые действительно имеют породообразующее значение в долеритах.

Мы подробно останавливаемся на этом вопросе, чтобы подчеркнуть чрезвычайно важное положение: формирование не только магматических, но и вторичных минералов тесно связано с механизмом застывания потоков базальтов и с характером их взаимодействия с внешней средой. Не будет преувеличением сказать, что палеогеографическая обстановка излияния базальтов влияет даже на их вторичную минералогию.

Анамезиты являются прямой противоположностью долеритам как по структуре, так и по степени развития вторичных минералов. Структура их очень мелкозерниста и в то же время почти полнокристаллична. Уже подчеркивалось, что анамезиты формируются именно в тех случаях, когда потоки базальтов изливались на минимально увлажненную поверхность. Следовательно, процессы в движущейся лаве сводились лишь к ее постепенному охлаждению, увеличению вязкости и в конечном счете к кристаллизации.

Ю.И.Дмитриев [1973] считает, что анамезиты венчают циклы накопления эффузивных базальтов. Нижние части циклов сложены двумя-тремя зональными потоками с центральными частями, представленными долеритами. Верхняя часть цикла обычно представлена одним потоком анамезитов. Такое строение всей базальтовой толщи Ю.И.Дмитриев объясняет циклическими колебаниями первичной насыщенности лав летучими компонентами. Очевидно, подмеченная Ю.И.Дмитрие-

вым цикличность всей толщи тунгусских базальтов действительно существует. Однако управляется она, по нашему мнению, палеогеографическими (и, следовательно, палеотектоническими) причинами.

Вероятно, начало каждого цикла было приурочено к концу периода относительно покоя и накопления туфогенных и туфогенно-осадочных пород, которые успевали сильно обводниться. Затем следовала серия излияний базальтовых потоков, в результате которых их поверхность оказывалась значительно выше уровня грунтовых вод. Последний поток изливался "посухо", что и отразилось в структуре его базальтов, в отсутствие зональности и текстурных типов пород, формирование которых обусловлено контактом с поверхностными водами. Затем следовал новый период покоя, накопленные вулканиды успевали частично эродироваться, устанавливался новый базис грунтовых вод. После этого цикл повторялся.

Однако и эта картина может быть правильной лишь в общих чертах. Анамезиты действительно чрезвычайно однородны, но и в них отмечаются участки, представленные шширами и линзами мандельштейнов. Значит, где-то на пути следования потоки базальтов "находили" небольшие очаги обводненности. В принципе можно допустить и более сложные латеральные соотношения анамезитов с иными текстурными типами базальтов.

Напомним, что в обнажении на правом берегу р. Кочечумо, напротив устья р. Кондакан в потоке анамезитов локализованы долериты в форме воронкообразных тел. В анамезитах же под долеритами установлены редкие газовые трубки, совершенно не свойственные анамезитам. Симптоматично, что это соотношение как бы на другом уровне повторяет уже знакомую нам картину: газовые трубки—мандельштейновые воронки. Очевидно, пары воды проникали в анамезиты в относительно небольшом количестве и локализовались под газоупорами. Этих паров было недостаточно для возникновения мандельштейнов, однако их хватило на изменение всего хода кристаллизации пород и возникновение долеритов с типичной пойкилоофитовой структурой (выше подчеркивалась роль воды в формировании долеритовых структур).

Третьим типом массивных базальтов являются мелкозернистые породы с интерсервальной структурой, наблюдавшиеся нами лишь по левобережным притокам р. Нижней Тунгуски. Они тесно связаны с глыбовыми и шаровыми лавами, и лишь участками в них хорошо видна призматическая отдельность.

Призматическая, или столбчатая, отдельность обычно четко проявлена во всех типах массивных базальтов. Наши наблюдения подтверждают давно подмеченную закономерность связи диаметра столбов с зернистостью базальтов. Самые грубые столбы отмечаются в долеритах, самые тонкие — в анамезитах. Формирование столбчатой отдельности обычно связывают с уменьшением объема базальтов в результате охлаждения: "После затвердевания лавовая масса продолжает охлаждаться и сокращаться, вызывая образования трещин охлаждения. При медленном охлаждении трещины располагаются приблизительно перпендикулярно поверхности охлаждения и обуславливают известную столбчатую отдельность лавовых потоков..." [Ритман, 1964, с. 115].

Казалось бы, против такого обычного объяснения формирования столбчатой отдельности трудно возразить, но существует факт, на который почему-то никто не обратил внимания и который совершенно не укладывается в эту концепцию: трещины отдельности никогда не бывают минерализованными. И это в тунгусских базальтах, с их исключительно интенсивным вторичным минералогенезом, в которых любая микроскопическая зона проницаемости (судя по наблюдениям в шшифах) использовалась для проникновения растворов. Более того, на торцовой поверхности столбов иногда можно наблюдать прожилки, выполненные вторичными минералами, пересекающие границы отдельности.

Это противоречие можно объяснить следующим: в погребенных базальтах трещин отдельности нет, но существуют сильные механические напряжения, предопределяющие их развитие в результате физического выветривания при выходе базальтов на дневную поверхность.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ШАРОВЫХ И ГЛЫБОВЫХ ЛАВ

Генезису шаровых лав посвящена чрезвычайно обширная литература. В списке цитированных работ сводки М.А.Гиляровой [1959], посвященной этому вопросу, содержатся 142 наименования. Из более поздних публикаций, в которых так или иначе обсуждался генезис шаровых лав, необходимо отметить работы В.П.Петрова и М.Г.Замураевой [1960], В.И.Лебединского [1963], Е.Ф.Малеева

[1969], монографии А.Ритмана [1964], И.В.Лучицкого [1971] и др. Происхождение шаровых лав тунгусских эффузивных базальтов обсуждалось в статьях В.И.Кудряшовой [1958], Е.И.Гуриновой [1960а,б], Н.В.Агуреевой [1967]. При всей противоречивости концепций перечисленных авторов, сложности и неоднозначности их теорий почти все они подчеркивают роль контакта лав с поверхностными водами как при излиянии потоков в море, так и в субэвральных условиях.

Наиболее распространенная точка зрения на генезис шаровых лав содержится в работе А.Ритмана [1964, с. 115–116]: "Как только вытекающая лава приходит в соприкосновение с холодной морской водой, она покрывается тонкой стекловатой коркой, постепенно переходящей внутрь в вязкую, а затем очень жидкую лаву. Эта корка растягивается под напором лавы, ее внешний, уже застывший слой разрывается и разрушается, а находящийся под ним вязкий слой снова покрывается стекловатой коркой, которая при дальнейшем притоке лавы также дробится и опять заменяется новой стеклянной коркой. Вскоре лавовый поток покрывается уже довольно толстым слоем из кусочков стекла. Это теплоизоляционный слой замедляет охлаждение, способствуя образованию более толстой сплошной корки. При дальнейшем течении потока в корке образуются трещины, из которых вытекает очень жидкая лава внутренней части потока. Закалка морской водой обуславливает... образование сфероидов (подушек или пиллоу)".

Возможно, что образование шаровых лав при морских извержениях происходит именно так, как представляет А.Ритман. Однако этот механизм, равно как и теории многих других авторов, плохо подходят для объяснения формирования шаровых лав тунгусских базальтов. Мы далеки от мысли о разработке очередной "универсальной" теории генезиса шаровых лав. Попытаемся лишь, опираясь на изложенные в предыдущих главах данные, разобраться в их генезисе применительно к конкретным условиям излияний базальтов Тунгусской синеклизы.

Рассмотрим сначала механизм формирования шаровых лав в апикальных частях мандельштейновых куполов. Напомним, что мандельштейны в этих куполах постепенно переходят вверх в межшаровую дресву, в которой "плавают" сильно разобщенные хорошо образованные шары с коркой закалки и радиальными трещинами отдельности (см. табл. VI, 2). Блоки массивных базальтов в мандельштейновых куполах, вообще говоря, очень характерны (см. табл. III, 2). Иногда они даже имеют округлую форму, но не обладают собственной поверхностью охлаждения и радиальной отдельностью.

Нам кажется, что формирование шаровых лав за счет этих "плавающих" блоков происходило в мандельштейновых куполах, особенно сильно насыщенных паровой фазой. В этих условиях возможен столь интенсивный рост пузырьков пара, что они в определенный момент соединялись и лава разрывалась на клочки, образуя тем самым межшаровую дресву. Освободившийся же пар, удерживаемый газопором (зоной закалки над куполом), вызвал быстрое охлаждение поверхности вязких, но еще расплавленных блоков, "плавающих" в мандельштейновом куполе. Образовавшаяся охлажденная поверхность, очевидно, обладала сильным поверхностным натяжением, сформировавшим шаровую форму блоков. Следует отметить, что именно в апикальных частях мандельштейновых куполов встречаются шары наиболее правильной формы.

Очевидно, тот же генезис имеют единичные шары, образующиеся на смыкании кокардоподобных корок, играющих роль газопоров (Анаунское обнажение). Обилие паровой фазы в этом случае не вызывает сомнения. Шары, по-видимому, формируются за счет блоков, разорванных поднимающимися вверх парами газопоров (реликтов первичной "слоистости" базальтов).

Таким образом, главными условиями образования шаровых лав описанного типа являются обилие пара и наличие блоков лавы, еще расплавленных, но отличающихся от вмещающей лавы большей вязкостью.

Следует подчеркнуть, что движение потоков базальтов, на фоне которого большинство авторов рассматривает генезис шаровых лав, в рассмотренных случаях отсутствует; мандельштейновые купола и прорывы газопоров осуществлялись уже после остановки потоков. Следовательно, динамический фактор не является обязательным при формировании шаровых лав.

Не менее распространено и другое сочетание нижних мандельштейнов и шаровых лав. Например, на скалах Сулова шаровые лавы локализованы в приподшенной части потока базальтов и вверх по разрезу постепенно переходят в мандельштейны. В данном случае, по-видимому, имело место прохождение потока базальтов через очень мелководный бассейн (озерцо, болото), что привело к

обильному выделению пара в контакте с лавой. При этом произошло быстрое охлаждение и дробление приподошенной части потока. За счет этих блоков полужастывшей лавы и сформировались эллипсоидальные и подушковидные тела шаровых лав.

Связь крупных линз шаровых лав в основании потоков базальтов с понижениями в рельефе, очевидно, заполненными водой, несомненна; она подчеркивалась ранее [Гуринова, 1960а,б], а также непосредственно следует из наших описаний. Особенно распространены шаровые лавы по левобережным притокам р. Нижней Тунгуски, т.е. на краю лавового поля. А.Уотерс писал о подобных условиях: "... когда флуд-базальты создают обширные лавовые равнины, можно с уверенностью полагать, что ранее существовавшая дренажная сеть испытала резкие изменения. Реки подвергались запруживанию у краев лавовых потоков, в результате чего возникали мелководные озера над только что застывшей лавой. Потоки следующих извержений изливались в эти краевые озера, образуя комплекс подушечных лав и дробленого базальтового стекла. Указанный процесс неоднократно повторялся" [Уотерс, 1963, с. 108].

Именно такая картина наблюдается в обнажениях по р. Гончак; в основании почти всех потоков базальтов присутствуют шаровые лавы. Вместе с тем следует подчеркнуть, что массивные части потоков здесь сложены не долеритами, типичными для центральных частей Тунгусской синеклизы, а глыбовыми мелкозернистыми базальтами с интерсертальной структурой. Точнее, в потоках базальтов по латерали наблюдаются постепенные переходы от нормальных столбчатых мелкозернистых базальтов к типичным глыбовым. Происхождение глыбовых лав понятно: по левобережным притокам Нижней Тунгуски обнажаются краевые части потоков, имеющие к тому же малую мощность.

Взаимоотношение шаровых лав с глыбовыми двояко. С одной стороны, глыбовые лавы образуют очень неровный рельеф поверхности потока, в понижениях которого и локализованы шаровые лавы (см. фиг.11), с другой — в основании потоков глыбовых лав, особенно при контакте с поверхностной водой, могло происходить обособление блоков лавы оптимальной вязкости. На этих блоках в условиях обилия пара (при вскипании озер и болот) формировалась собственная поверхность охлаждения с высоким поверхностным натяжением, и они приобретали формы шаров, эллипсоидов и подушек.

Латеральные соотношения шаровых и глыбовых лав нами прослежены в обнажении левого берега р. Тембенчи, в 5 км от ее устья. Здесь можно видеть совершенно неправильные, угловатые глыбы, но уже имеющие собственную поверхность охлаждения и миндалекаменную зону под ней. Очевидно, сил поверхностного натяжения оказалось недостаточно для изменения формы этих фрагментов лавы. Наблюдаются постепенные переходы от этих угловатых глыб к слегка округленным и далее к типичным эллипсоидальным и подушковидным телам шаровых лав. Последние наиболее четко выражены над понижениями в рельефе кровли нижележащего потока, а также в северной части обнажения, где, вероятно, происходило более интенсивное пропаривание базальтов.

О ФОРМИРОВАНИИ ШАРОВОЙ ОТДЕЛЬНОСТИ

Объяснение генезиса шаровой отдельности не вызывает таких сложностей, как в случае шаровых лав. Достаточно исчерпывающим является следующее высказывание А.Ритмана: "Вследствие выветривания в столбах появляется вторичная скорлуповатая отдельность, предопределенная микроскопическими концентрическими трещинами сжатия, образовавшимися при охлаждении. Путем луковичеподобного расслоения образуются круглые глыбы, внешняя форма которых напоминает пиллоу, с которыми некоторые исследователи и путают их, несмотря на то, что они не имеют ни стеклянной корки, ни радиально-трещиноватой структуры. Такая концентрически-скорлуповатая отдельность встречается и в субэпиральных лавовых потоках, особенно в тех случаях, когда они текли по болотам или родникам. и в жилах, интродуцированных во влажные боковые породы" [Ритман, 1964, с. 120].

Шаровая отдельность формируется на самых поздних этапах застывания потока, когда пары воды не могли уже проходить через массу лавы, а использовали границы между ее блоками. Время формирования шаровой отдельности однозначно устанавливается на скалах Сулова в нижнем потоке, где она поражает нижние части долеритов, залегающих над мандельштейнами, блоки-отторженцы в мандельштейнах (см. табл. V, 2) и даже эллипсоидальные тела шаровых лав.

С поздним формированием шаровой отдельности, очевидно, связана ее обязательная ассоциация с глыбовыми лавами, которые к моменту остановки на данной обводненной площадке имели очень высокую вязкость, а блоки лавы были уже разобщены трещинами.

Следует подчеркнуть, что шаровая отдельность в глыбовых лавах (а иногда и в столбчатых долеритах) локализуется в форме куполообразных и грибообразных тел, совершенно аналогичных мандельштейновым куполам (см. табл. VII, I). Это обстоятельство, как нам кажется, ярко демонстрирует общность процессов взаимодействия лавы с поверхностными водами. В случае мандельштейнов лавовый поток к моменту остановки был еще жидким. Купола и "грибы" шаровой отдельности сформировались уже в очень вязкой лаве. Причина же формирования и тех и других была одна — устремляющиеся вверх пары воды из подстилающих обводненных отложений.

Как уже указывалось, шаровая отдельность локализуется в следующих формах: в полигональных пакетах, по ортогональной системе трещин отдельности, линейная и неправильная (см. табл. VII, I). Морфологические различия типов шаровой отдельности, очевидно, диктуются первичной формой блоков вязкой лавы, между которыми проникали охлаждавшие их пары воды. Как и в случае столбчатой отдельности, трещины отслоения шаровой отдельности не минерализованы. Очевидно, в погребенных базальтах шаровой отдельности еще не было. Но сильные радиальные напряжения, возникшие в результате неравномерного охлаждения блоков породы паром, сохранились, реализовавшись впоследствии при физическом выветривании базальтов в виде концентрически-скорлуповатой отдельности.

С шаровой отдельностью тесно ассоциируют отдушины — более или менее крупные полости в базальтах, частично заполненные вторичными минералами. Очевидно, отдушины, описанные ранее А. Уотерсом [1963], могут выдуваться в лавах с высокой вязкостью, в которые пары воды проникают уже не через массу базальтового потока, а по трещинам между блоками еще не застывшей лавы. Отдушины иногда достигают больших размеров и служат прекрасными кристаллизаторами исландского шпата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, текстурные типы эффузивных базальтов Тунгусской синеклизы весьма разнообразны. В зависимости от конкретных условий они могут сочетаться в пределах единых потоков самым различным образом. Определяющими условиями формирования тех или иных геологических соотношений текстурных типов базальтов являются температура и вязкость магмы, а также характер местности (уклон), по которой течет поток, и степень обводненности подстилающих отложений. Два последних фактора относятся к категории палеогеографических и отражают влияние экзосреды на формирование строения потоков базальтов.

Принципиально новым в наших представлениях является признание решающей роли палеоландшафта в формировании текстур, а следовательно, и структур базальтов. Эта роль может быть весьма значительной как в случае очень жидких, мощных и медленно текущих тунгусских базальтовых лав, так и менее заметной — при большей скорости движения потоков и повышенной вязкости лав.

В пределах площади развития изученных нами тунгусских эффузивных траппов как будто намечаются устойчивые сочетания текстурных типов, характерных для разных структурных зон. Так, для потоков базальтов, вскрывающихся в среднем течении р. Тембенчи, наиболее характерны системы мандельштейновые купола—зоны пронизаемости—мандельштейновые воронки. В южной части поля развития базальтов (левобережные притоки р. Нижней Тунгуски) в основаниях потоков постоянно встречаются шаровые лавы в сочетании с глыбовыми. Только в основании нидымской свиты (лишь в низовьях р. Тембенчи и на р. Нижней Тунгуске в районе пос. Тура) отмечалась "слоистость" базальтов, а также характерное многоярусное распределение мандельштейнов, порождаемое слоистыми газупорами.

Очевидно, такие геологически устойчивые сочетания текстурных типов базальтов, закономерно обусловленные палеогеографическими условиями, должны иметь ранг фаций. При значительной близости петрохимического состава базальтовых магм глобальные палеогеографические условия порождают совершенно различные сочетания текстур и структур базальтов.

По нашим наблюдениям, в противоположность тунгусским базальтам для четвертичных платобазальтов Армении (район Гарни) совершенно не характерны мандельштейны. Ведущим текстурным типом там являются базальты с призматической отдельностью и интерсертальными структурами. Пойкилоофитовые структуры отсутствуют. Очевидно, отсутствие мандельштейнов, "слоистости", шаровых лав, шаровой отдельности и других текстурных типов, возникающих при обилии водяного пара, проходящего через базальты, отражает формирование базальтовых потоков на "сухой" подложке, что в свою очередь определяется аридным климатом.

Совершенно иные текстурно-структурные типы базальтов присутствуют в океанах. Как показывает анализ "Первичных отчетов DSDP"¹, для океанических базальтов наиболее характерны типичные пиллоу-лавы с вариолитовыми, интрагранулярными и интерсертальными структурами. Часто встречаются тонкие потоки базальтов, присутствуют в разрезах и массивные, относительно грубозернистые разности, нередко принимаемые за силлы. Миндалины наблюдаются в незначительном количестве почти во всех типах базальтов, вне зависимости от современной глубины океанического дна, однако участками амигдалоидность значительна. Очень характерна брекчия гналокластив, с которой переслаиваются потоки базальтов.

Типичная для континентальных базальтов призматическая (столбчатая) отдельность отсутствует. Практически не встречаются и пойкилоофитовые структуры.

¹ Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, 1970—1979, vol. 2—46.

В целом исследование генезиса текстурных типов базальтов представляет собой важную задачу, решение которой поможет расшифровать палеогеографические условия формирования океанических базальтов.

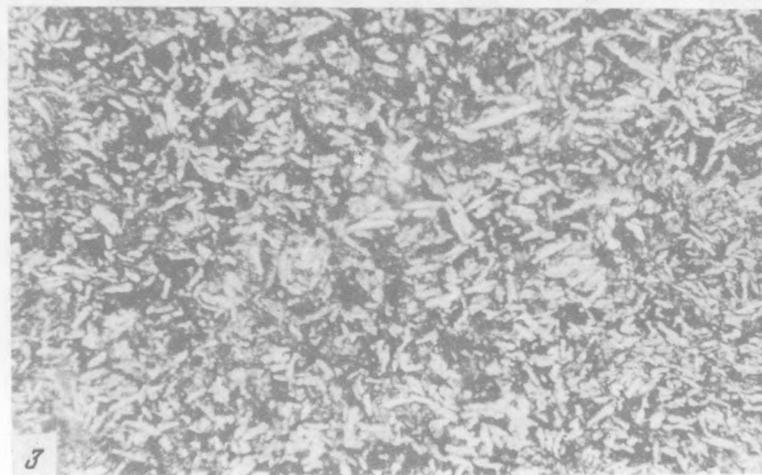
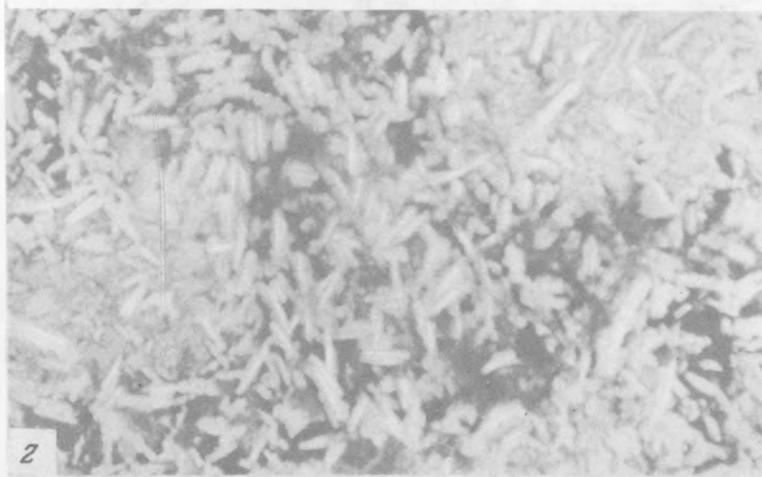
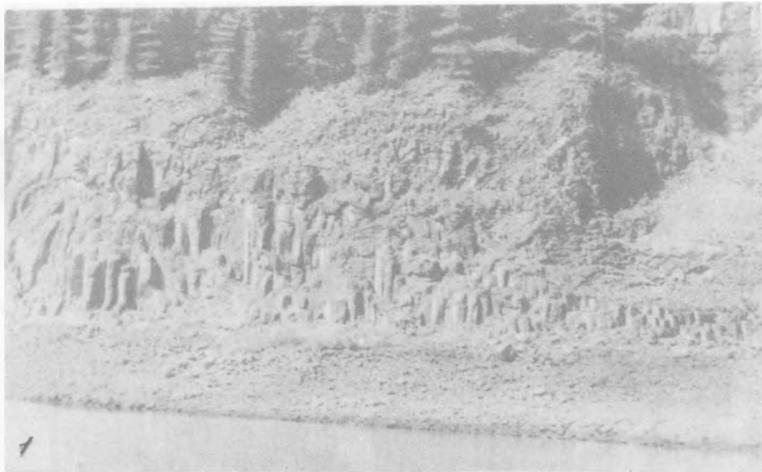
Таким образом, текстурные и структурные особенности базальтов, формирующихся в гумидном (Нижняя Тунгуска) и аридном (Армения) климате, а также на океаническом дне, различаются весьма значительно. Это позволяет поставить вопрос о выделении типов литогенеза базальтов: гумидного, аридного и океанического.

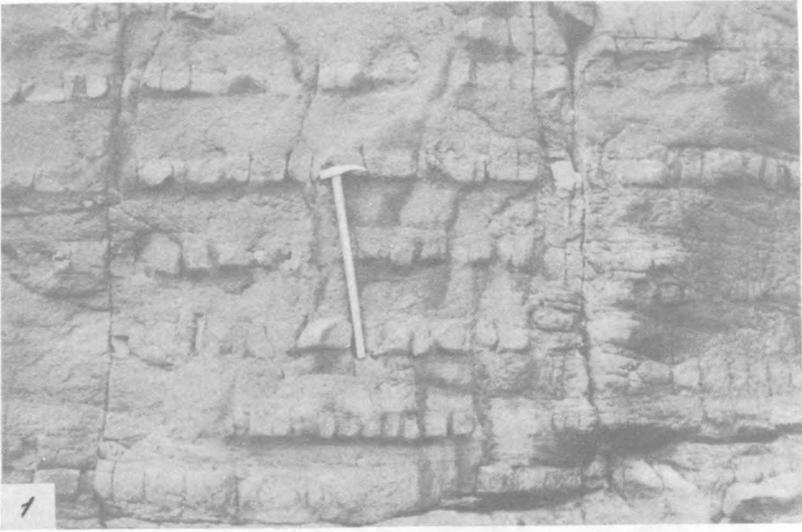
Формирование различных текстурно-структурных типов базальтов определяет их минералогию (как первичную, так и вторичную) даже при значительной петрохимической близости исходных магм. Так, химический состав пироксенов и номера плагиоклазов зависят от соотношения кристаллической фазы и стекловатого мезостазиса, которое в свою очередь определяется условиями кристаллизации базальтов. В еще большей зависимости от текстурно-структурных типов находится вторичная минералогия базальтов. В последнее время в нашем распоряжении появились данные о процессах, происходящих в результате взаимодействия с паром первичного стекловатого мезостазиса базальтов, приводящих к формированию палагонитоподобных водных аморфных фаз, впоследствии легко замещаемых смектитом. Значительное, хотя и косвенное влияние на интенсивность вторичного минералогенеза оказывают пористость и проницаемость базальтов, наличие крупных пустот, трещин усадки и т.д., непосредственно связанных с различными текстурными типами базальтов.

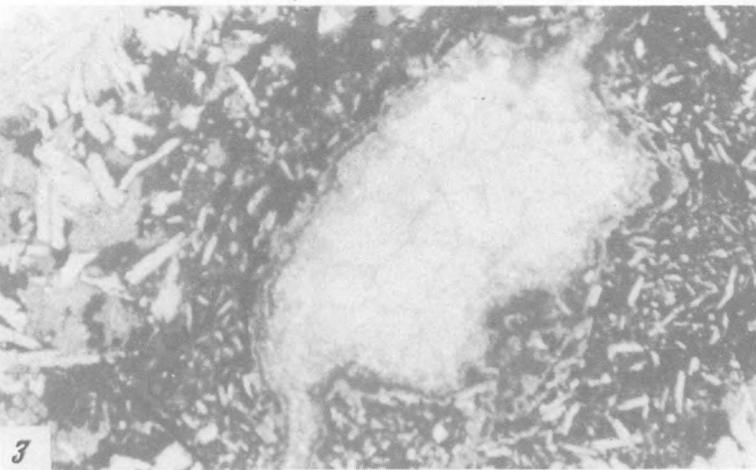
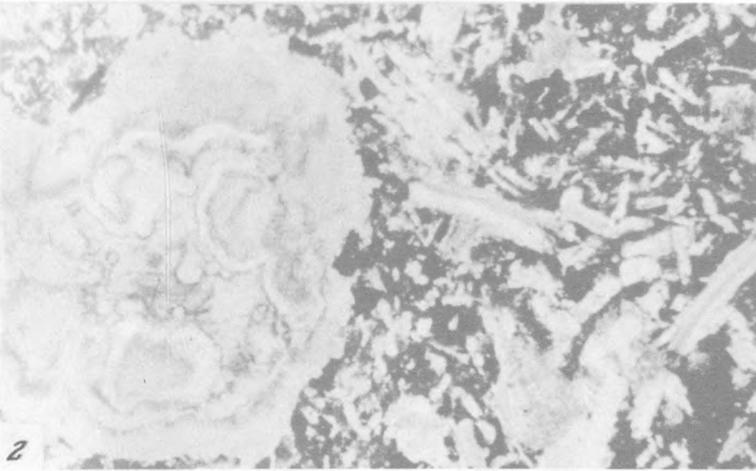
При принципиальной однотипности парагенезов вторичных минералов в базальтах (смектиты, цеолиты, кальцит, минералы кремнезема, пренит) этот вывод может иметь большое значение для поисков полезных ископаемых, связанных с эффузивными базальтами, например исландского шпата и агатов. На Тунгусской синеклизе исландский шпат встречается в крупных полостях-кристаллизаторах, приуроченных к глыбовым лавам. Следовательно, задача поиска новых месторождений исландского шпата сводится к фациальному анализу эффузивных базальтов с выявлением площадей и уровней разрезов, представленных глыбовыми и сопутствующими им шаровыми лавами. Такие условия наиболее вероятны в краевых частях поля развития эффузивов Тунгусской синеклизы.

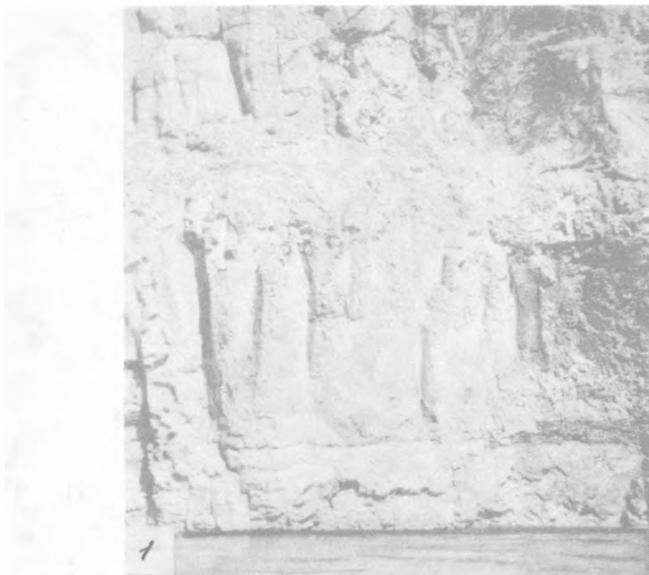
ЛИТЕРАТУРА

- Агуреева Н.В.* Особенности строения и цеолитовой минерализации шаровых лав среднего течения р. Нижней Тунгуски. — В кн.: Водные вулканические стекла и поствулканические минералы. М.: Наука, 1967, с. 105–118.
- Атабаев К.К., Маркина Л.А.* Месторождения исландского шпата в трапах Сибирской платформы. — Сов. геол., 1972, № 12, с. 75–87.
- Благовещенская М.Н.* Триасовая система. Стратиграфия. — В кн.: Геология Сибирской платформы. М.: Недра, 1966, с. 122–146.
- Боручинкина М.А., Кичкина С.С., Григорьев В.В.* Стратиграфия вулканогенных отложений центральной части Тунгусской синеклизы. — Тр. Томск. ун-та, 1974, т. 232а, с. 74–79.
- Геология Сибирской платформы. М.: Недра, 1966.
- Гилярова М.А.* Шаровые лавы сунарского района Южной Карелии и проблема генезиса шаровых лав. — Учен. зап. ЛГУ. Сер. геол. наук, 1959, № 268, вып. 10, с. 3–68.
- Гор Ю.Г., Иванов А.И.* О ранних фазах трапового и щелочно-ультраосновного вулканизма северной части Сибирской платформы. — Тр. Ин-та геол. Арктики, 1959, т. 105, с. 116–125.
- Гуринова Е.И.* Геологические условия формирования шаровых лав среднего течения р. Нижняя Тунгуска. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1960а, № 6, с. 94–105.
- Гуринова Е.И.* Особенности кристаллизации породообразующих минералов в шаровых лавах Нижней Тунгуски. — Геол. и геофиз., 1960б, № 8, с. 58–72.
- Дмитриев Ю.И.* Мезозойский траповый вулканизм в центре и на периферии Тунгусской синеклизы. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1973, № 10, с. 58–67.
- Кадик А.А., Лебедев Е.Б., Хитаров Н.И.* Вода в магматических расплавах. М.: Наука, 1971.
- Коптев-Дворников В.С., Яковлева Е.Б., Петрова М.А.* Вулканогенные породы и методы их изучения (на примере краснокаменно-измененных вулканогенных пород Казахстана). М.: Недра, 1967, 331 с.
- Крестин Е.М.* О принципах выделения и классификации фаций магматических пород. — В кн.: Основные идеи М.А. Усова в геологии. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1960, с. 246–254.
- Крестин Е.М.* Петрология и закономерности развития эффузивного трапового магматизма Курейского района (северо-запад Сибирской платформы). — Бюл. МОИП. Отд. геол., 1968, т. 43, вып. 2, с. 67–109.
- Кузнецов Ю.А.* О принципах выделения и классификации фаций магматических пород. — В кн.: Основные идеи М.А. Усова в геологии. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1960, с. 246–254.
- Кудрявцев Д.И.* О преобразовании интерстиционного стекла в эффузивных базальтах Тунгусской синеклизы. — Литол. и полез. ископ., 1979, № 2, с. 139–144.
- Кудряшова В.И.* К вопросу об образовании шаровых лав среднего течения р. Нижней Тунгуски. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1958, № 2, с. 94–99.
- Лебедев А.П.* Траповая формация центральной части Тунгусского бассейна. — Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, 1955, вып. 161, петрогр. сер., № 46, с. 1–197.
- Лебединский В.И.* К вопросу о развитии взглядов на генезис шаровых лав. — В кн.: Вулканизм Камчатки и некоторых других районов СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963, с. 85–96.
- Лурье Л.М.* Фазы вулканизма траповой формации Сибирской платформы. — Сб. науч. информ. ВСЕГЕИ, 1956, № 3, с. 6–7.
- Лучицкий И.В.* Основы палеовулканологии. М.: Наука, 1971. Т. 1, 2.
- Малеев Е.Ф.* Подушечные лавы и подушечные агломераты. — В кн.: Вулканические фации Камчатки. М.: Наука, 1969, с. 110–112.
- Обручев С.В.* Тунгусский бассейн (восточная и западная части). М.; Л.: НКТП СССР, 1932–1933. Т. 1, 2 (Тр. Всесоюз. геол.-развед. об-ния; Вып. 165 и 178).
- Петров В.П., Замураева М.Г.* О стекловатых шаровых лавах р. Левая Лефу на Дальнем Востоке. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1960, № 11, с. 69–75.
- Ритман А.* Вулканы и их деятельность. М.: Мир, 1964.
- Соболев В.С.* Петрология трапов Сибирской платформы. Л.: Глазевморпуть, 1936 (Тр. Аркт. ин-та; Т. 43).
- Толстухин О.Н.* К вопросу о количестве ювенильной воды, выделяющейся при образовании эффузивных пород. — Геохимия, 1961, № 11, с. 1005–1008.
- Уотерс А.К.* Определение направления течения в базальтах. — В кн.: Проблемы палеовулканизма. М.: Изд-во иностр. лит., 1963, с. 96–115.
- Хоменко А.В., Попелуха Г.Ф.* Тектоника центральной части Тунгусской синеклизы. — Тр. Томск. ун-та, 1974, т. 232, с. 189–193.
- Dutton C.* Hawaiian volcanoes. — U.S. Geol. Surv., 1884, 4th Annual Rept.
- Hamilton D.Z., Anderson C.M.* Effects of water and oxygen pressure on the crystallization of basaltic magmas. Basalt. — In: Poldervaart treatise on rocks of basaltic composition. N.Y., 1961, vol. 1.
- Gulluly J.* The water content of magmas. — Amer. J. Sci., 1937, vol. 233, p. 430–441.
- MacDonald G.A.* Pahoehoe, aa and block lava. — Amer. J. Sci., 1953, vol. 251, p. 169–191.
- MacDonald G.A.* Physical properties of erupting Hawaiian magmas. — Bull. Geol. Soc. Amer., 1963, vol. 74, N 8, p. 1071–1077.
- Nichols R.L.* Viscosity of lava. — J. Geol., 1939, vol. 47, p. 290–303.
- Palmer H.S.* A study of the viscosity of lava. — Bull. Hawaiian Volcano Obs., 1927, vol. 15, p. 432–445.
- Toit A.L. du.* Pipe-amigdaloids. — Geol. Mag., 1907, vol. 44, p. 28–35.
- Wentworth C.K.* The physical behavior of basaltic lava flows. — J. Geol., 1954, vol. 62, p. 425–428.

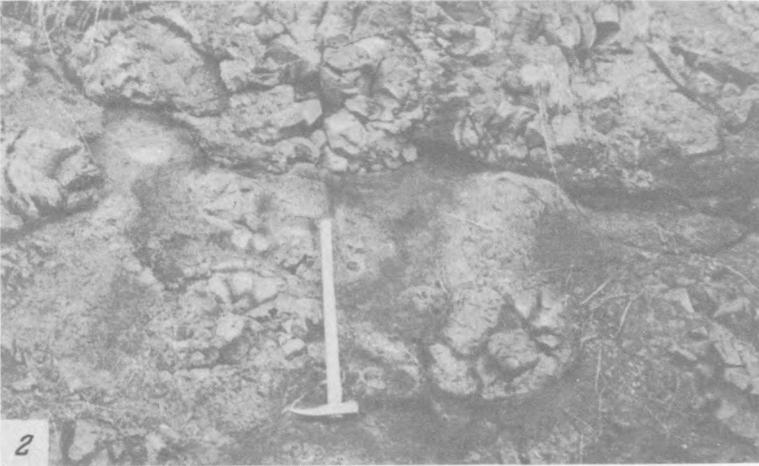


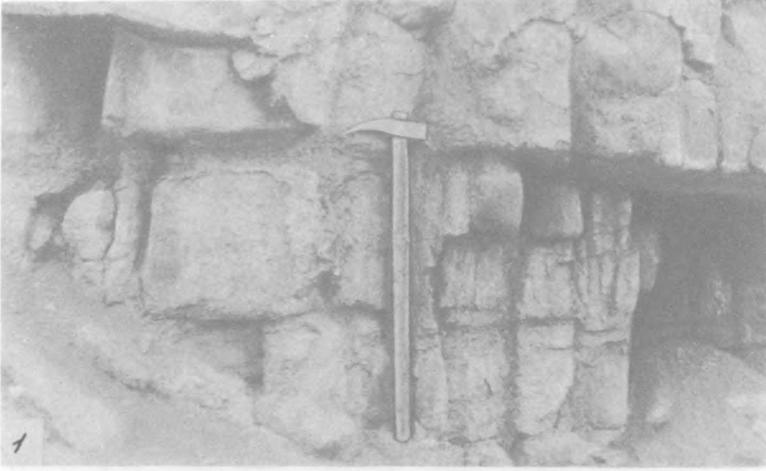


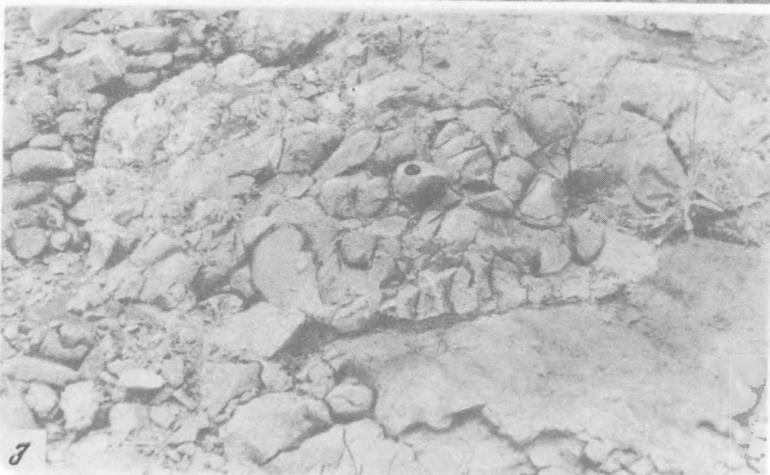
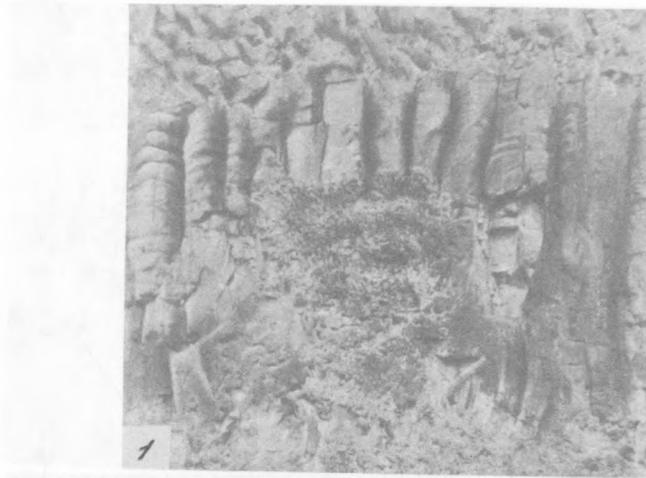


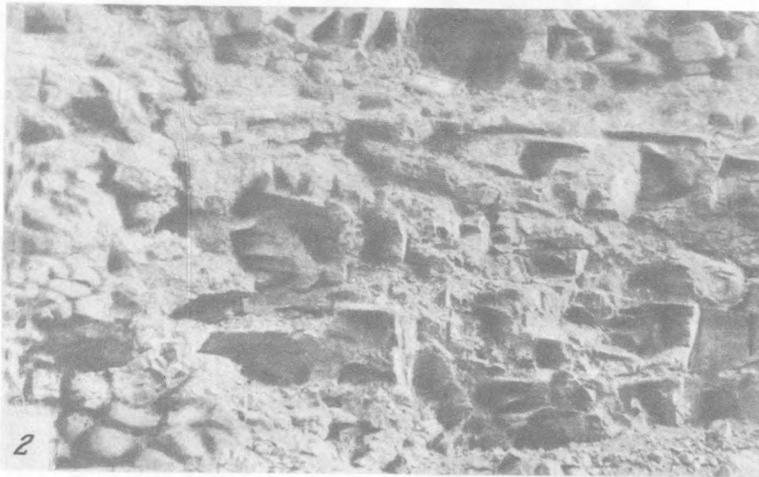




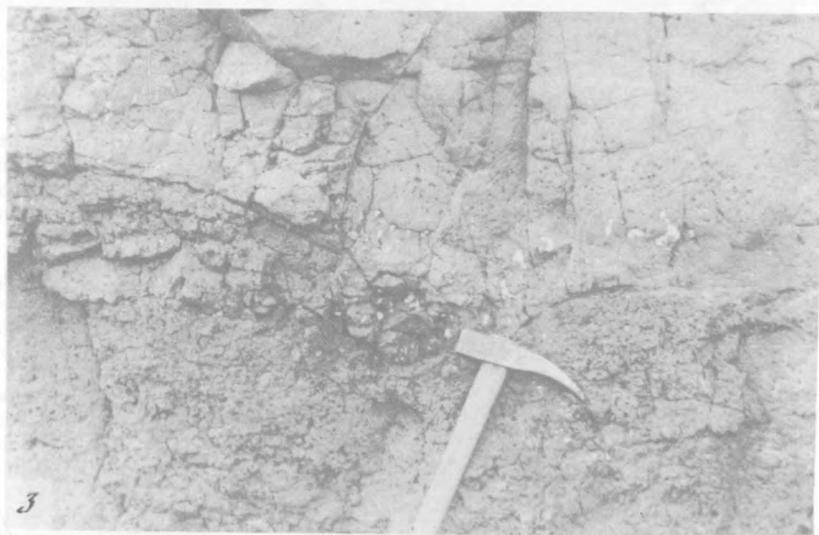


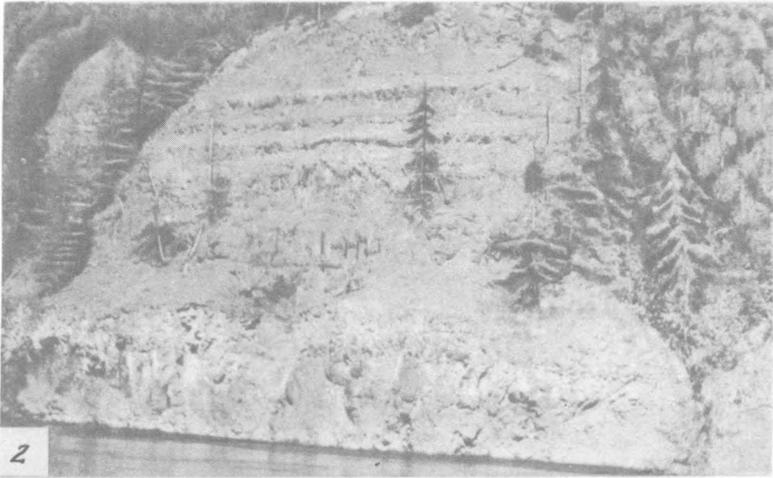












ОБЪЯСНЕНИЯ К ТАБЛИЦАМ

Т а б л и ц а I

1. Грубостолбчатые долериты. Река Нижняя Тунгуска, скала 15-го километра
2. Пойкилоофитово-интерсертальная структура долерита. Стекловатый мезостазис замещен смектитом (темно-серый). Без анализатора, х 30
3. Микроструктура анемезита. Без анализатора, х30

Т а б л и ц а II

1. "Слоистые" базальты. Видны газовые трубки, пересекающие "слой". Река Тембенчи в 5 км ниже устья р. Верхней Хекты
2. "Слоистые" базальты. Река Тембенчи в 5 км ниже устья р. Верхней Хекты
3. Образец мандельштейна. Миндалины выполнены кальцитом и цеолитами. Уменьшено в 3 раза

Т а б л и ц а III

1. Блоки мелкозернистых базальтов в мандельштейнах. Скала 15-го километра
2. Структура мандельштейна. Без анализатора, х 100
3. Мелкозернистая оболочка вокруг миндалины. Без анализатора, х 30

Т а б л и ц а IV

1. Линза мандельштейнов в столбчатых долеритах. Река Тембенчи, устье р. Копали
2. Сложные клиновидные соотношения столбчатых базальтов и мандельштейнов (светлые). Река Тембенчи, устье р. Верхний Солокит
3. Шаровая лава. Скалы Сулова

Т а б л и ц а V

1. Соотношение мандельштейнов и массивных базальтов в нижней части потока. Скалы Сулова
2. Отторженец массивных базальтов в мандельштейнах. Скалы Сулова
3. Шаровая лава в основании потока. Река Гончак

Т а б л и ц а VI

1. Лавы, переходные от блочных к шаровым. Река Тембенчи, в 5 км от ее устья .
2. Шаровая лава в мандельштейновом куполе. Река Тембенчи в 5 км ниже устья р. Верхней Хекты.
3. Шаровая отдельность в полигональных пакетах. Река Тембенчи, устье р. Копали

Т а б л и ц а VII

1. Начальная стадия развития шаровой отдельности по ортогональной системе трещин отдельности. Река Поledжикит
2. Шаровая отдельность. Река Нижняя Тунгуска, в 8 км ниже пос. Нидым
3. Линейная шаровая отдельность. Скалы Сулова

Т а б л и ц а VIII

1. Грибообразное тело лав с шаровой отдельностью в массивных базальтах. Река Тембенчи, устье ручья Каменистого
2. Шаровая отдельность в отторженце в мандельштейнах. Скалы Сулова
3. Шаровая отдельность в подушковидном обособлении шаровой лавы. Скалы Сулова

Т а б л и ц а IX

1. Шаровая отдельность в туфах. Скалы Сулова
2. Угловато-глыбовая отдельность. Видны крупные полости – кристаллизаторы. Река Поledжикит.
3. Полые газовые трубки. Река Тембенчи близ устья р. Анаун

Т а б л и ц а X

1. Газовая трубка. Река Дялингда
2. Газовая трубка, раскрывающаяся кверху в мандельштейны. Река Тембенчи, 20 км выше устья р. Хороки
3. Часть обнажения скалы 15-го километра. Соответствует средней части фиг. 4

Т а б л и ц а XI

1. Зона проницаемости. Река Тембенчи
2. Система разорванных и выгнутых вверх газоупоров. Река Тембенчи, в 1 км ниже устья р. Анаун
3. Деталь участка того же обнажения. Хорошо виден единичный шар

Т а б л и ц а XII

1. Разорванные реликты плотных слоев (газоупоров) в мандельштейнах. Река Тембенчи, в 7 км от ее устья
2. "Слоистое" строение потока базальтов. Река Тембенчи, устье р. Копали
3. Изгибание "слоистости" базальтов. Река Тембенчи, в 5 км от ее устья

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава первая	
Геологическое положение и стратиграфия эффузивных базальтов Тунгусской синеклизы	5
Глава вторая	
Текстуры эффузивных базальтов	9
Глава третья	
Геологические соотношения текстурных типов базальтов	17
Глава четвертая	
Генезис текстурных типов базальтов	34
Заключение	48
Литература	50
Таблицы I—XII и объяснения к ним	51

CONTENTS

Introduction	3
Chapter one	
Geological position and stratigraphy of effusive basalts of the Tunguska syneclyse	5
Chapter two	
Textures of effusive basalts	9
Chapter three	
Geological relationships of textural types of basalts	17
Chapter four	
Genesis of textural types of basalts	34
Conclusion	48
Bibliography	50
Plates I—XII and explanations to them	51

Игорь Максимович Симанович, Дмитрий Иванович Кудрявцев

ТЕКСТУРНЫЕ ТИПЫ ЭФФУЗИВНЫХ БАЗАЛЬТОВ
ТУНГУССКОЙ СИНЕКЛИЗЫ

Труды, вып. 362

Утверждено к печати ордена Трудового Красного Знамени
Геологическим институтом АН СССР

Редактор издательства Л.С. Тапельзон

Художник А.А. Шпаков. Художественный редактор И.Ю. Нестерова
Технический редактор Г.И. Астахова. Корректор В.П. Крылова

ИБ № 21364

Подписано к печати 3.03.81. Т-03052

Формат 70x108 1/16. Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Усл. печ. л. 5,6
Уч.-изд.л. 6,3. Тираж 600 экз. Тип. зак. 2067. Цена 95 коп.

Издательство "Наука", 117864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 90
Ордена Трудового Красного Знамени 1-я типография издательства "Наука",
199034, Ленинград, В-34, 9-я линия, 12

95 коп.

