

УДК 551.21

© 1998 г. ЛЕОНОВ В.Л., ГРИБ Е.Н.

**КАЛЬДЕРЫ И ИГНИМБРИТЫ УЗОН-СЕМЯЧИКСКОГО РАЙОНА,  
КАМЧАТКА: НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ  
РАЗРЕЗОВ ПЛАТО ШИРОКОЕ**

Приведены новые данные о геологическом строении южного борта Узон-Гейзерной вулcano-тектонической депрессии (плато Широкое). Проведенное детальное геологическое картирование позволило расчленить породы, слагающие плато, на шесть пачек и рассмотреть условия их образования. Сделан вывод, что еще до формирования Узон-Гейзерной депрессии в современном ее виде на ее месте существовала обширная депрессия, которая, по-видимому, объединялась с расположенной южнее кальдерой Большого Семьячика. Детальное изучение стратиграфии и минералогических характеристик игнимбритов, связанных с Узон-Гейзерной депрессией, позволило сделать вывод, что их формирование было длительным, сложным и многоэтапным процессом. Выделено три толщи игнимбритов, разделенных этапами формирования лав и озерных отложений. Показано, что присутствующие в разрезе особого типа пирокластические породы (игнимбриты андезитобазальтового состава) свидетельствуют об участии воды в их образовании и о том, что в происхождении Узон-Гейзерной депрессии большую роль играли сравнительно небольшие взрывы из депрессий, частично заполненных водой.

CALDERAS AND IGNIMBRITES IN THE UZON-SEMYACHIK REGION, KAMCHATKA: NEW EVIDENCE FROM A STUDY OF SECTIONS IN THE SHIROKOE PLATEAU, by Leonov V.L. and Grib E.N. New evidence is presented concerning the geologic structure of the southern wall of the Uzon-Geyser Valley volcano-tectonic depression (Shirokoe plateau). Detailed geological mapping classified the plateau rocks into six members and made it possible to examine their formation conditions. It is concluded that an extensive depression had existed in the place of the present-day Uzon-Geyser Valley depression which seems to have coalesced with the Bolshoi Semyachik caldera situated further south. A detailed study of the stratigraphy and mineralogic characteristics of the ignimbrites related to the Uzon-Geyser Valley depression suggests that their development has been a long-continued, complex, and multiphase process. Three ignimbrite sequences separated by lava and lacustrine deposits have been identified. It is shown that the special pyroclastic rocks present in the section (ignimbrites of basaltic andesite composition) provide evidence of water taking part in their formation and of the fact that small explosions in depressions partially filled with water have played a great part in the origin of the Uzon-Geyser Valley depression.

(Received December 30, 1996)

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

Районы распространения кальдер и связанных с ними игнимбритов постоянно привлекают внимание исследователей. Кальдеры являются поверхностным выражением обширных, но неглубоких магматических очагов, они обычно контролируют гидротермальную деятельность и рудообразование [20, 23, 24, 26]. На Камчатке кальдеры распространены наиболее широко на центральном участке Восточно-Камчатского вулканического пояса (рис. 1). Здесь они располагаются в ~20–25 км друг от друга и образуют цепочку, вытянутую с юго-запада на северо-восток. Кальдеры, расположенные в южной части этой цепочки, слились, образовав единую обширную зону проседания (Карымско-Семьячикскую кальдерную систему [14]). Возраст кальдер –

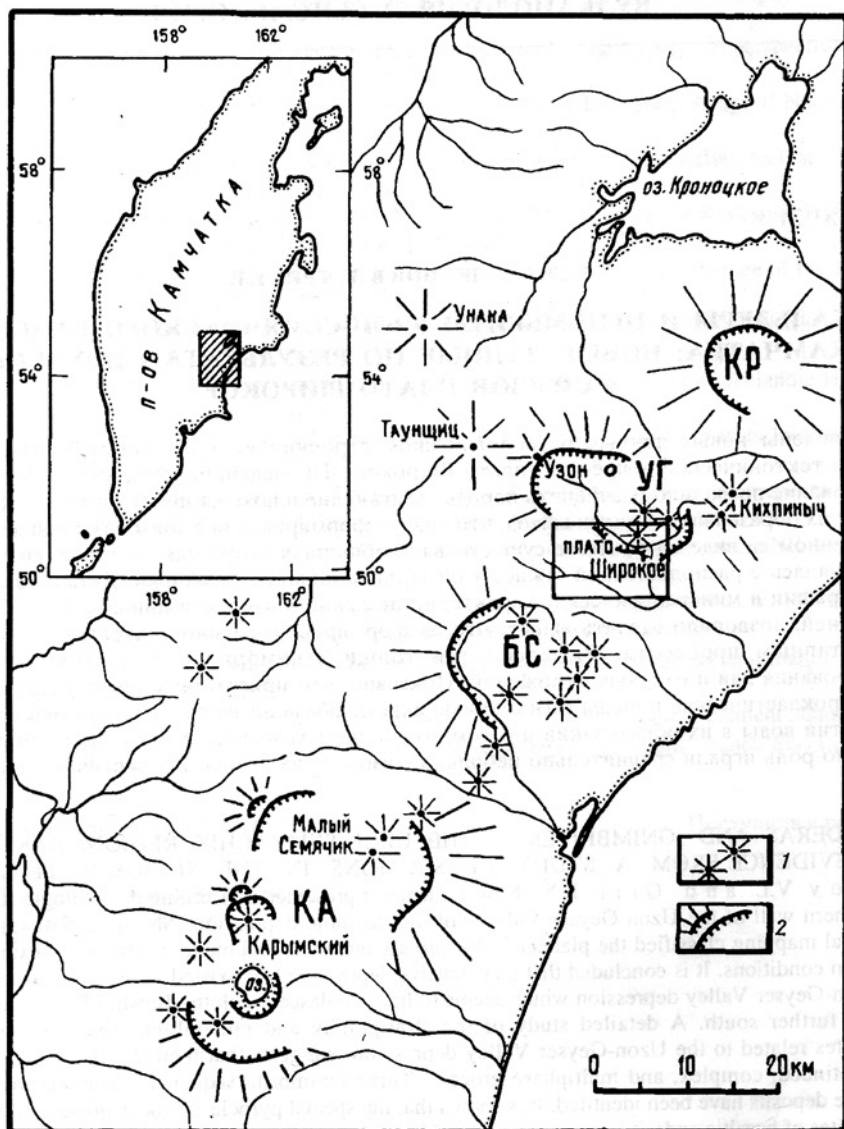


Рис. 1. Схема расположения основных вулканических центров и кальдер на центральном участке Восточной Камчатки: 1 – вулканы; 2 – кальдеры. Вулканические центры: КА – Карымский, БС – Большесемьячический, УГ – Узон-Гейзерный, КР – Крашенинникова. Прямоугольником отмечен район плато Широкое (см. рис. 2)

позднечетвертичный, для Карымско-Семьячической системы он определен в 130–140 тыс. лет [14], для Большесемьячической – в ~80 тыс. лет [5], для Узон-Гейзерной – 40 тыс. лет [15]. Игнимбриты, связанные с этими кальдерами, последовательно перекрывают друг друга: карымские игнимбриты перекрыты семьячическими, которые в свою очередь перекрыты узонскими, а те – пемзами, связанными с кальдерой Крашенинникова. Таким образом, можно вслед за авторами работы [19] отметить, что в данном районе в позднем плейстоцене происходила последовательная миграция кальдер в северо-восточном направлении. Возможно, это было связано с постепенной миграцией магмы в недрах [11].

В настоящей работе основное внимание уделено новым данным, полученным при изучении геологического строения южного борта Узон-Гейзерной депрессии – плато Широкое. Последнее имеет размеры  $\sim 8 \times 4$  км и представляет собой обособленную возвышенность с платообразной поверхностью, имеющей абсолютные отметки  $\sim 900$ – $950$  м. Благодаря хорошей обнаженности и большой мощности вскрытых разрезов (до  $500$ – $600$  м), указанный район является ключевым в изучении процессов формирования кальдер и игнимбритов на данном участке Восточно-Камчатского вулканического пояса.

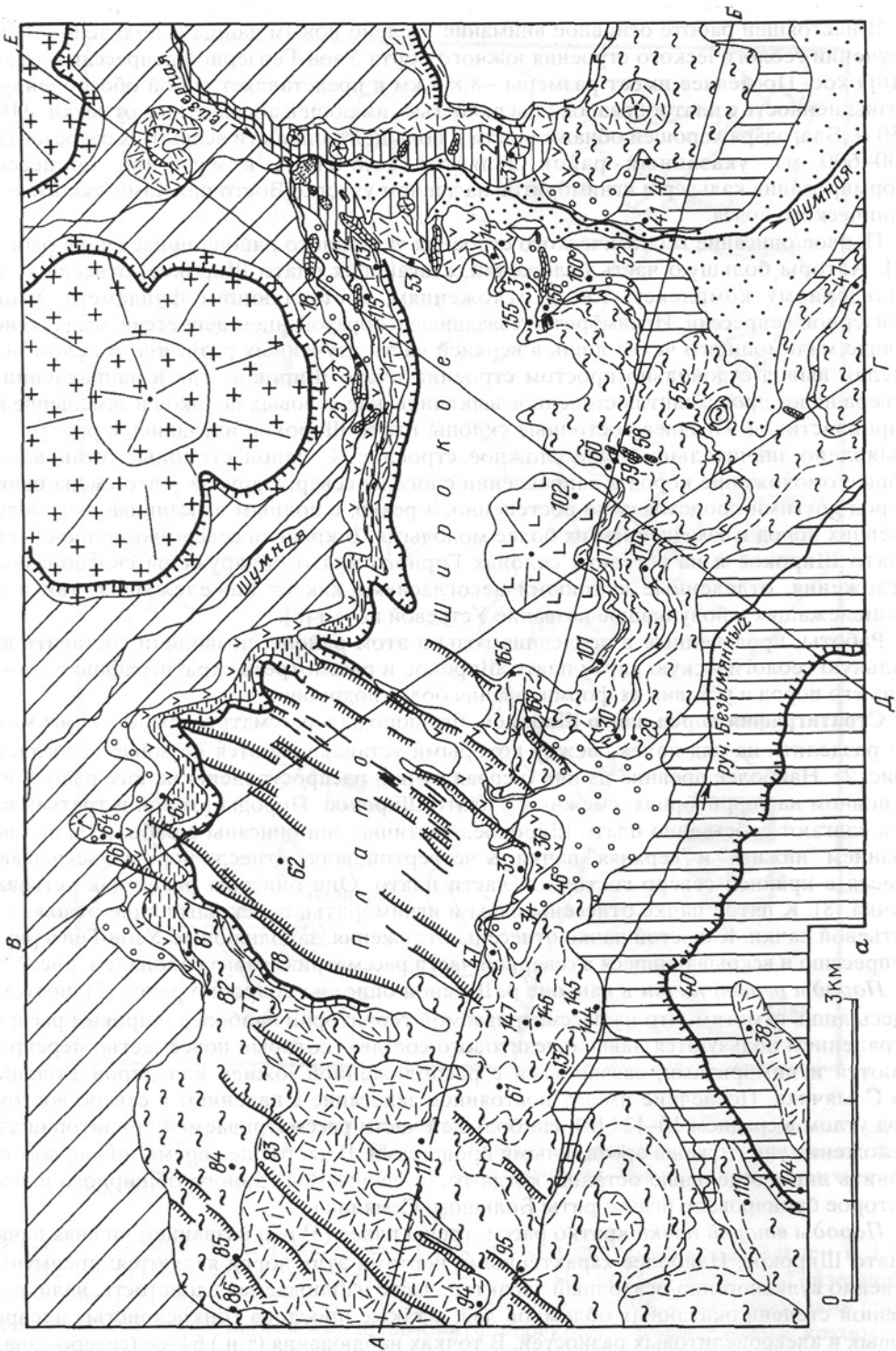
Первое описание геологического строения указанного района приведено в работе [3]. Авторы большую часть отложений, слагающих плато Широкое, отнесли к до-кальдерному комплексу, т.е. к отложениям, составляющим фундамент Узон-Гейзерной депрессии. Игнимбриты, связанные с образованием депрессии, выделялись в виде маломощного чехла лишь в верхней части изученных разрезов. В целом был сделан вывод о довольно простом строении плато Широкое, где в направлении с севера на юг происходит постепенное выклинивание лавовых потоков и замещение их пирокластикой. Позднее восточные склоны плато Широкое изучались в работе [8]. Выявлено значительно более сложное строение. С одной стороны, установлено общее омоложение пород в направлении с юга на север, с другой – что смена одних пород другими происходит не постепенно, а резко, с полным выклиниванием более древних пород и замещением их более молодыми. В крайней северо-восточной части плато Широкое и на соседних склонах Горного плато обнаружены своеобразные отложения, отделенные крупными несогласиями как от нижележащих, так и от вышележащих и получившие название Устьевой пачки [8].

Работы, проведенные в последние годы в этом районе, позволили составить детальную геологическую карту плато Широкое и рассмотреть стратиграфию слагающих его пород и условия их формирования более подробно.

**Стратиграфия пород плато Широкое.** Все породы в рассматриваемом районе можно разделить на ряд пачек, между которыми устанавливаются крупные несогласия (рис. 2). Наиболее древние из них (первая пачка) распространены на юге района и в основном на территориях, смежных с плато Широкое. Породы второй и третьей пачек слагают собственно плато Широкое. Частично они описаны в работе [3] под названием "нижняя" и "верхняя" пачки. К четвертой пачке отнесли породы, вскрывающиеся в крайней северо-восточной части плато. Они описаны ранее как устьевая пачка [8]. К пятой пачке отнесены лавы и игнимбриты, перекрывающие отложения устьевой пачки. К шестой пачке отнесены отложения, заполняющие Узон-Гейзерную депрессию и вскрывающиеся в северной части рассматриваемого района (см. рис. 2).

*Породы первой пачки* в каньоне р. Шумной описаны подробно ранее [7], поэтому здесь лишь отметим, что на рассматриваемой территории наиболее широким распространением пользуются лавы андезитового состава, которые повсеместно перекрываются игнимбритами, связанными с расположенной южнее кальдерой Большого Семьячика. Последние имеют постоянное залегание с падением к северо-востоку под углом в среднем  $10$ – $12^\circ$  [8]. На большей части рассматриваемой территории эти отложения уничтожены эрозионными процессами. В настоящее время можно восстановить лишь отдельные останцы когда-то, по-видимому, единого обширного плато, которое бронировали игнимбриты Большого Семьячика.

*Породы второй пачки* кратко рассмотрены ранее [3] под названием нижняя пачка плато Широкое. Наиболее характерными чертами этих пород являются: преимущественно вулканогенно-осадочный характер, часто наблюдаемая слоистость, наличие в разной степени окатанных обломков лав, а также прослоев тонкослоистых алевроитовых и алевропелитовых разностей. В точках наблюдения (т.н.) 64–66 (северо-западные обрывы плато Широкое) наблюдается чередование слоистых псефитовых, агломератовых туфов и туфопесчаников зеленоватого цвета. В верхней части разреза вскрываются туфопесчаники с редкими обломками пемз размером  $1$ – $2$  см в поперечнике, а также редкие прослои алевроитовых туфов. Общая мощность этого разреза



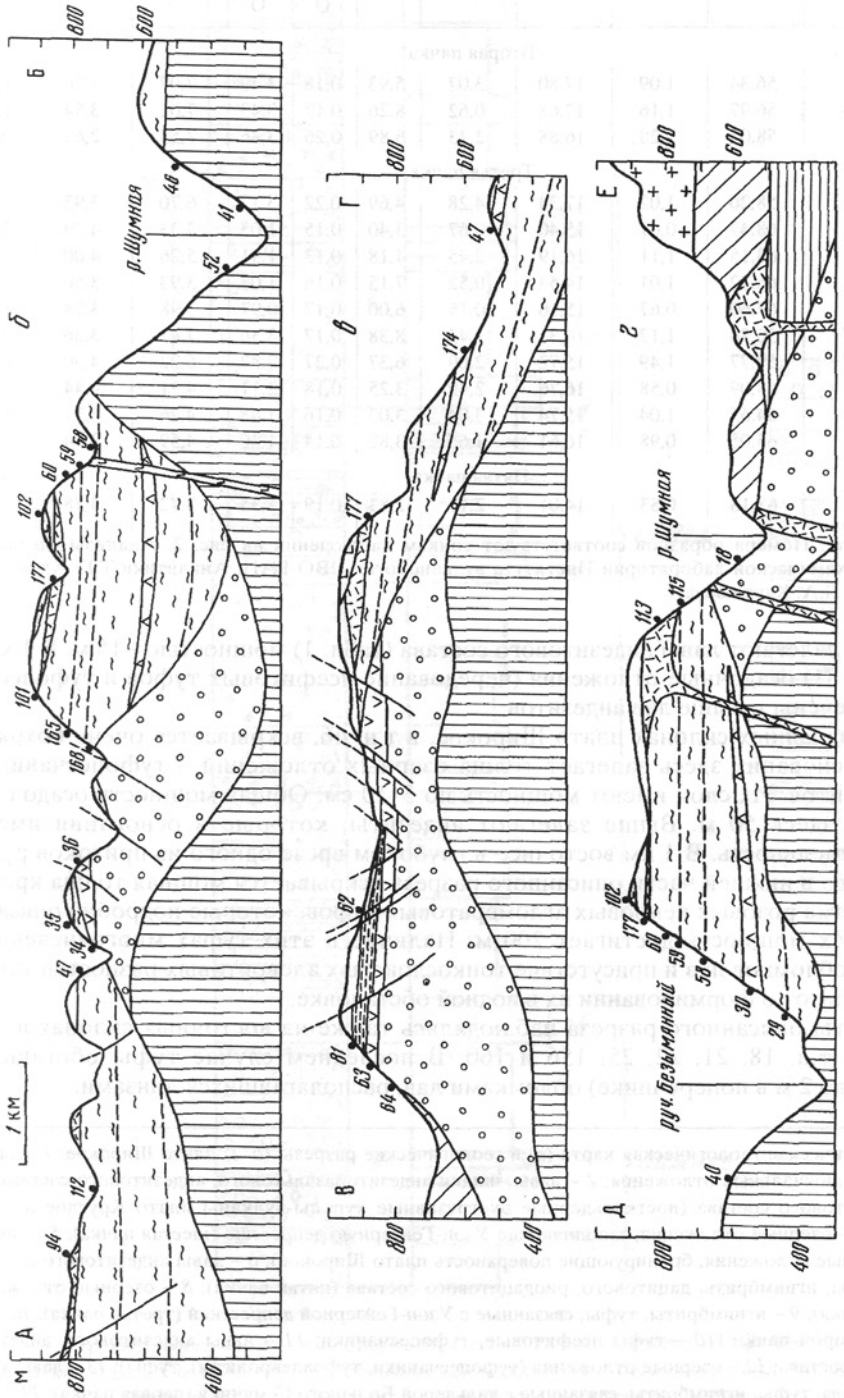


Рис. 2

Таблица 1

Химический анализ лав, шлаков и игнимбритов из отложений второй–пятой пачек плато Широкое, мас. %

Номер образца	Индекс	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Mn O	Mg O	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Вторая пачка											
34	–	56,34	1,09	17,80	3,07	5,93	0,18	3,49	7,07	3,76	1,30
63	–	56,97	1,16	17,68	0,62	8,26	0,17	3,43	7,02	3,54	1,15
36	–	58,05	1,28	16,88	2,23	6,89	0,26	3,36	7,53	2,63	0,89
Третья пачка											
54	<i>i</i>	58,20	1,02	17,34	4,28	4,69	0,22	3,17	6,70	3,93	0,45
55	<i>h</i>	68,47	0,67	15,40	0,67	3,40	0,15	1,03	3,33	4,79	2,06
47	<i>g</i>	63,15	1,11	16,19	2,45	4,18	0,13	1,51	5,26	4,00	2,02
29	<i>g</i>	66,72	1,01	14,53	0,52	7,15	0,16	1,03	3,93	3,50	1,45
30	<i>g</i>	67,60	0,67	15,16	0,15	6,00	0,17	0,97	3,98	3,78	1,52
58	<i>d</i>	56,74	1,17	16,31	1,43	8,38	0,17	3,56	7,41	3,86	0,97
168	<i>d</i>	59,77	1,49	15,72	2,09	6,37	0,27	2,87	6,22	4,30	0,90
3	<i>c</i>	64,09	0,58	16,76	2,49	3,25	0,18	2,11	4,21	4,44	1,89
59	<i>c</i>	64,65	1,04	15,74	3,04	3,03	0,16	1,48	4,26	4,71	1,89
35	<i>c</i>	65,05	0,98	16,61	1,65	3,82	0,14	1,30	4,59	3,94	1,92
Пятая пачка											
177	<i>a</i>	68,18	0,83	14,01	2,11	2,83	0,19	1,35	3,72	4,78	2,00

*Примечание.* Номера образцов соответствуют точкам наблюдений на рис. 2. Анализы сделаны в Центральной химической лаборатории Института вулканологии ДВО РАН. Аналитики Т.Г. Алексеева, Л.Т. Байцаева, Л.А. Карташева.

75 м. Выше залегают лавы андезитового состава (табл. 1) мощностью ~15 м. В 1 км к западу (т.н. 81) осадочные отложения (чередование псефитовых туфов и туфопесчаников) встречены и выше лав андезитов.

На юго-западных склонах плато Широкое, в т.н. 46, вскрывается очень похожий разрез. В основании здесь залегает толща озерных отложений – туфопесчаников, туфогравелитов. Их слои имеют мощность по 3–10 см. Общая мощность осадочных отложений здесь 50 м. Выше залегают андезиты, которые в основании имеют шаровую отдельность. В 1 км восточнее в глубоком врезе одного из притоков ручья Безымянного в нижней части описанного разреза вскрывается мощная толща кремневых или слегка розовых пемзовых агломератовых туфов, которые подробно описаны ранее [3]. Их мощность достигает 200 м. Наличие в этих туфах многочисленных окатанных обломков лав и присутствие тонкослоистых алевроитовых разностей также свидетельствуют о формировании их в водной обстановке.

Фрагменты описанного разреза наблюдались также на восточных склонах плато Широкое в т.н. 18, 21, 22, 25, 156 и 160. В последнем случае туфы обогащены крупными (до 2 м в поперечнике) обломками лав, располагавшихся линзами.

Рис. 2. Схематическая геологическая карта (*a*) и геологические разрезы (*б–з*) плато Широкое: 1 – аллювиальные и делювиальные отложения; 2 – лавы, шлаки андезитобазальтового, андезитового состава; 3 – лавы риодацитового состава (посткальдерные экструзивные куполы-вулканы плато Круглое и сопки Гейзерная); 4 – озерные отложения, заполняющие Узон-Гейзерную депрессию (шестая пачка); 5 – пемзы, тефра (взрывные отложения, бронирующие поверхность плато Широкого); 6 – лавы андезитового состава; 7 – лавы, туфы, игнимбриды дацитового, риодацитового состава (пятая пачка); 8 – озерные отложения (четвертая пачка); 9 – игнимбриды, туфы, связанные с Узон-Гейзерной депрессией (третья пачка); 10–12 – отложения второй пачки (10 – туфы псефитовые, туфопесчаники; 11 – лавы андезитового, андезитобазальтового состава; 12 – озерные отложения (туфопесчаники, туфоалевролиты), туфы); 13 – лавы андезитового состава, туфы, игнимбриды, связанные с кальдерой Большого Семьячика (первая пачка); 14 – неки, дайки, экструзивные купола; 15 – разрывные нарушения; 16 – эрозийные уступы; 17 – точки наблюдения, отбора образцов и их номер (см. ссылки в тексте); на разрезах показаны как точки наблюдения, которые расположены непосредственно на линии разреза, так и близлежащие точки



Несмотря на то что отложения второй пачки вскрываются лишь фрагментами (в северо-западной, юго-западной и восточной частях плато Широкое), они легко узнаваемы и, несомненно, представляют собой единую пачку, формировавшуюся, по-видимому, в водной обстановке, скорее всего в крупном озере. Они отчетливо слоисты и повсеместно имеют падение к северо-востоку. Угол падения меняется от 9–11 до 24–26°. Очень характерным элементом разреза являются лавы андезитового состава. Пространственно они приурочены к западной части плато Широкое, вскрываясь на его склонах как с севера, так и с юга. Состав пород очень однородный (56% SiO<sub>2</sub>). Центры излияния лав андезитов не установлены.

*Породы третьей пачки* залегают с резким несогласием на описанных породах второй пачки (см. рис. 2). Перед их формированием был значительный временной перерыв, в течение которого часть нижележащих отложений была размывта. В юго-восточной части плато Широкое сформирован глубокий каньон – прообраз современной длины реки Шумная в нижнем ее течении. Описываемые отложения целиком заполнили этот каньон, а также глубокую впадину, расположенную западнее плато Широкое.

Наиболее полные разрезы отложений третьей пачки вскрыты на юго-востоке, где общая мощность их достигает 600 м. Здесь преобладают довольно рыхлые, легко размываемые пемзовые псефитовые, агломератовые туфы (размер обломков лав колеблется от 2 до 10 см). Кое-где в них встречаются линзы брекчий. Характерные элементы строения этой пачки – относительно маломощные шлаки, лавы и игнимбриты, которые обычно трассируются вдоль склонов плато Широкое на большие расстояния в виде хорошо выраженных уступов. На рис. 3 приведена стратиграфическая колонна отложений третьей пачки, вскрытых на юго-восточных склонах плато Широкое в районе т.н. 55–60 (см. рис. 2). Разрез расчленен на шесть частей, между которыми установлены небольшие перерывы в осадконакоплении (размыв нижележащих пород). Обычно к границам частей приурочены лавы или грубые брекчии, залегающие в карманах подстилающего рельефа. Нижняя часть разреза (б) сложена слабо сцементированными агломератовыми пемзовыми туфами, среди которых выделяются два более плотных слоя (обозначены индексами *i* и *h*): слой *i* – грубые спекшиеся шлаки с размером обломков до 30 см, мощностью от 1,5 до 4–5 м (от обычных шлаков эти породы отличаются наличием игнимбритовых структур, выраженных в виде линзовидных фьяммеподобных обособлений расплава, псевдофлюидальных текстур, присутствием пепловых частиц, особо заметных при больших увеличениях, и мелких включений ксеногенного материала); слой *h* – черные стекловатые игнимбриты, содержащие фьямме из обсидиана, мощностью 1–1,5 м. Вблизи верхней границы агломератовые пемзовые туфы, слагающие эту часть разреза, обогащены обломками и сменяются выше маломощными неслоистыми песчанистыми отложениями (возможная фация отложений пеплового облака [2]).

Следующая часть разреза (5) начинается с мощного (до 30 м) пласта лав дацитового состава (обозначен индексом *g*). Лавы тянутся вдоль склонов плато Широкое на расстояние >5 км (см. т.н. 30, 47, 156 и 174; рис. 2). Непосредственно на них залегают озерные отложения, представленные ритмичным переслаиванием алевритовых, псаммитовых, псефитовых туфов (мощность слоев по 3–5 см). Выше залегает агломератовый пемзовый туф, который слагает также всю следующую часть описываемого разреза (4). Эти отложения представляют собой продукт наслоения нескольких пирокластических потоков, которые перекрывали друг друга, образовав в итоге мощную туфовую толщу, в которой трудно вычленивать отдельные остывшие единицы. Можно предполагать, что в данной части разреза их было не менее пяти.

Следующая часть разреза (3) вновь начинается с лав дацитового состава (обозначены индексом *f*). Выше них залегает агломератовый пемзовый туф, который далее сменяется грубослоистым шлаковым туфом, а в верхней части – озерными отложениями. Последние представлены слоями (мощностью от 15–20 см до 1 м) туфопесчаников, а также алевритовых и псефитовых туфов. Отложения имеют отчетливую



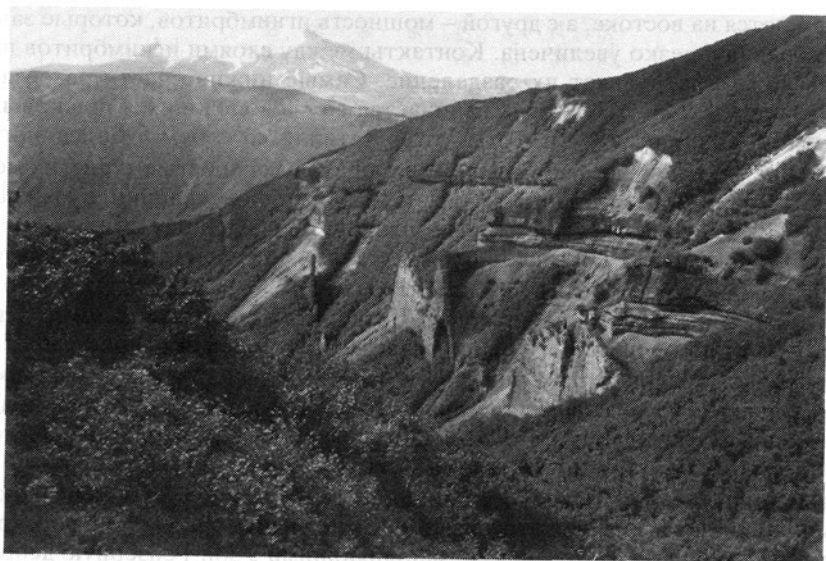


Рис. 4. Общий вид разреза отложений третьей пачки, вскрытого на юго-восточных склонах плато Широкое. В средней части разреза уступом выделяются слои спекшихся шлаков и туфопесчаников (слои *e*, *d*, см. рис. 3). Снимок В.Л. Леонова

горизонтальную слоистость, небольшую мощность (1,5–2 м) и вместе с вышележащим слоем спекшихся шлаковых туфов выступают в рельефе в виде небольшого уступа, прослеживающегося вдоль всех юго-восточных склонов плато Широкое (рис. 4). Эти два ярко выраженных слоя обозначены индексами *e* и *d*.

Залегающая выше часть разреза (2) также сложена преимущественно агломератовым и псефитовым пемзовым туфом. В основании кое-где прослеживаются лавы андезитового состава, имеющие мощность до 10–15 м. Туфовая часть разреза имеет плохо выраженную горизонтальную слоистость, в ней выделяются два протяженных слоя более плотных пород, обозначенные индексами *b* и *c*. Нижний слой (*c*) представлен черным игнимбриком с выделяющимися обсидиановыми фьямме, мощностью 1,5 м. Верхний слой (*b*) представлен плотно спекшимся игнимбриком, без фьямме, мощностью также 1–1,5 м.

Верхняя часть описываемого разреза (1) сложена преимущественно грубослоистыми отложениями, богатыми обломками, которые легко вываливаются из породы. В центре этого разреза выделяется слой псефитового шлакового туфа черного цвета мощностью 5 м. Самая верхняя часть разреза представлена слоем плотных игнимбриков, обозначенных индексом *a*. Эти игнимбриты относятся к пятой пачке и более подробно описаны далее. Они широко распространены в южной части плато Широкое (см. рис. 2, т.н. 101 и 177) и выклиниваются как к западу, так и к востоку. Мощность их в т.н. 177 достигает 10 м.

На северных склонах плато Широкое и к западу от него вскрываются отдельные фрагменты описанного разреза. Так, в т.н. 112–115 в северо-восточной части плато вскрыт разрез, начиная со слоя *d*. Отчетливо проявлен залегающий в 20 м выше по разрезу слой *c* – черные стекловатые игнимбриты мощностью 1 м. Заканчивается разрез отложений третьей пачки светлыми пемзовыми псефитовыми туфами и плохо сцементированными грубослоистыми глыбовыми брекчиями. Игнимбриты слоя *a* здесь отсутствуют, и непосредственно на туфобрекчии ложатся лавы липаритового состава.

К западу от плато Широкое разрез отложений третьей пачки вскрыт значительно хуже. Здесь, с одной стороны, отсутствуют глубокие врезы речных долин, подобные

тем, что имеются на востоке, а с другой – мощность игнимбригов, которые заполняют глубокую впадину, резко увеличена. Контакты между слоями игнимбригов не всегда проявлены, и это затрудняет их разделение. Самые нижние части разреза вскрываются здесь в т.н. 144–147. Разрез начинается со слоя спекшихся шлаковых туфов черного цвета мощностью 4–5 м. Его отождествили со слоем *h* описанного ранее разреза. Выше залегают псефитовые до агломератовых слоистые туфы, их мощность достигает 200 м. В верхней части на них залегают туфопесчаники, туфогравелиты мощностью 10 м, а далее – слой черных шлаков, обогащенных обломками чуждых пород. Его мощность 3 м. Этот слой отождествляли со слоем *d*. Выше по уровню по всем распадкам верховьев ручья Безымянного (т.н. 47, 61, 132, 112, 95 и 110) прослеживается мощный (до 100 м) слой серых игнимбригов с черным фьямме. Этот слой соответствует слою *c* описанного выше разреза. Восточнее, в районе т.н. 35, эти игнимбриги резко уменьшаются в мощности и далее к т.н. 36 полностью выклиниваются. Аналогичное несогласное залегание отложений верхней пачки на подстилающих отложениях наблюдается в т.н. 81 и 82 на северо-западных склонах плато Широкое. Игнимбриги слоя *c* имеют здесь мощность ~10 м, а к востоку уже через 1 км полностью выклиниваются. К западу их мощность резко возрастает и через 2 км, в т.н. 84, превышает 100 м (основания этого слоя здесь не видны, так как оно перекрыто более молодыми озерными отложениями, заполняющими Узон-Гейзерную депрессию).

*Отложения четвертой пачки* (устьевой [8]) также в основном туфогенно-осадочные. Нижние части разреза представлены агломератовыми туфами, глыбовыми туфобрекчиями и прослоями и линзами псаммитовых и псефитовых туфов. Глыбы лав не окатаны, размером до 1–2 м в поперечнике, располагаются гнездами. В отложениях заметна грубая слоистость. Выше в разрезе преобладают слоистые псефитовые и псаммитовые туфы зеленого цвета. Эта часть разреза отличается ритмичностью. Верхняя часть разреза пачки представлена псефитовыми или агломератовыми слоистыми туфами зеленого или коричневого цвета. Большинство обломков в этих туфах окатаны, местами они сменяются туфогравелитами и туфопесчаниками, в которых встречаются неопределимые остатки флоры. Общая мощность отложений пачки ~600 м.

С отложениями четвертой пачки связаны многочисленные дайки, неки, силлы, экструзии и лавовые потоки, формирование которых шло, по-видимому, одновременно с накоплением осадочной части разреза. В пользу этого свидетельствует то, что лавовые потоки и силлы перемежаются с туфами и туфобрекчиями, состав обломков в последних близок к составу лав, слагающих потоки и экструзии (преимущественно риодациты и дациты), для туфогенно-осадочной части разреза повсеместно характерно сильное окремнение, которое обычно бывает связано с внедрением лав непосредственно в озеро.

Большая часть из описанных выше даек, как отмечено ранее [9], трассирует зону дуговых трещин, ограничивающих с юго-востока Узон-Гейзерную вулcano-тектоническую депрессию.

*Отложения пятой пачки* выделяются впервые. К ним отнесены лавы и пирокластические породы, в том числе игнимбриги, залегающие выше отложений четвертой (устьевой) пачки. В северо-восточной части плато Широкое эти отложения представлены мощным наслоением лав риодацитового и риолитового состава. В их основании вскрываются игнимбриги лавоподобного облика, содержащие фьямме и вытянутые протяженные полоски обсидиана. На расположенном восточнее Горном плато игнимбриги перекрывают лавы риолитового состава, занимая наиболее верхнее стратиграфическое положение среди отложений, слагающих борт Узон-Гейзерной депрессии. Для них характерны облекание рельефа, крутые углы падения на склонах (до 30°), залегание часто в виде линзы, быстро выклинивающейся по простиранию, землистый (при малой мощности) или лавоподобный (при большой мощности) вид.

В западной части плато Широкое такого типа игнимбриги, занимающие верхнюю часть разреза, встречены в т.н. 77, 83, 85, 86 и 94 (см. рис. 2). Они имеют здесь

Химический состав минеральных фаз и остаточного стекла в игнимбритах и шлаках плагато Широкое, мас. %

Номер образца	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Σ	O <sub>2</sub>	Ab	An	W <sub>0</sub>	E <sub>n</sub>	F <sub>s</sub>	F <sub>m</sub>
1	58,17	-	26,21	0,15	-	-	8,66	6,51	0,18	99,98	1,03	57,05	41,92	-	-	-	-
2	58,14	-	27,13	0,18	-	-	9,60	5,12	0,18	100,35	1,10	48,57	50,33	-	-	-	-
3	55,04	-	28,32	0,30	-	-	11,25	4,29	0,03	99,22	0,19	40,73	59,07	-	-	-	-
4	45,59	-	34,89	0,31	-	-	18,60	0,68	0,00	100,08	0,00	6,24	93,76	-	-	-	-
5	53,72	0,18	0,44	21,45	1,58	21,75	1,38	-	-	100,50	-	-	-	2,85	62,54	34,61	35,63
6	53,59	0,30	0,80	21,34	1,14	21,55	1,44	-	-	100,17	-	-	-	3,00	62,37	34,63	35,70
7	52,77	0,16	0,48	23,71	1,48	19,97	1,59	-	-	100,15	-	-	-	3,33	58,02	36,55	39,98
8	54,19	0,22	0,94	17,44	0,68	25,28	1,58	-	-	100,32	-	-	-	3,14	69,83	27,03	27,90
9	52,81	0,26	0,94	9,74	0,66	14,03	21,33	0,25	-	100,03	-	-	-	44,03	40,28	15,69	28,04
10	53,24	0,35	1,03	9,96	0,38	14,40	21,02	0,21	-	100,58	-	-	-	43,05	41,03	15,92	27,96
11	51,93	0,28	0,83	12,97	0,89	13,09	19,20	0,02	-	99,22	-	-	-	40,39	38,30	21,31	35,74
12	52,44	0,36	1,41	8,65	0,30	14,91	20,48	0,07	-	99,13	-	-	-	43,28	42,78	13,93	24,57
13	55,98	1,34	15,58	10,73	-	3,32	7,74	3,48	1,34	99,51	-	-	-	-	-	-	-
14	59,54	1,01	15,88	8,29	0,05	3,04	6,70	4,00	1,42	99,93	-	-	-	-	-	-	-
15	73,34	0,40	13,80	2,29	0,01	0,34	1,75	4,35	2,80	99,08	-	-	-	-	-	-	-
16	64,35	0,97	15,60	5,73	0,03	1,84	5,01	4,43	1,35	99,30	-	-	-	-	-	-	-

Примечание. 1-4 – плагатоклаз (1-3 – в игнимбритах, 4 – в шлаках); 5-8 – ортопироксены (5-7 – в игнимбритах, соответственно в слоях *h*, *c*, *a*; 8 – в шлаках); 9-12 – клинопироксен (9-11 – в игнимбритах, 12 – в шлаках); 13-16 – стекла (13, 14 – в шлаках; 15, 16 – в игнимбритах). Анализы выполнены на рентгеновском микроанализаторе "Самбах", аналитик В.М. Чубаров.

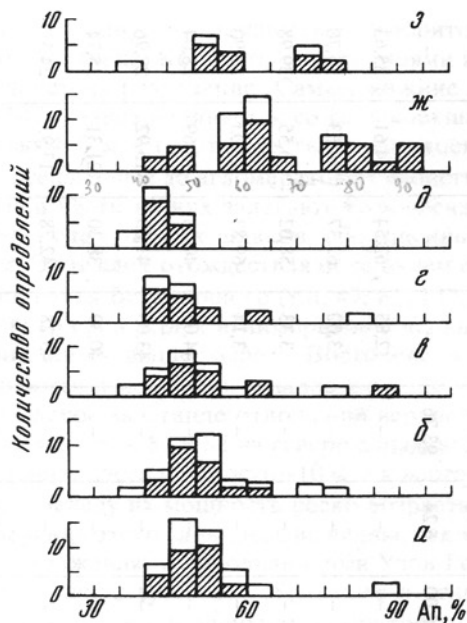


Рис. 5. Гистограммы распределения составов плагиоклаза в игнимбритах: 5 – Северного поля; б – Южного поля; в-д – соответственно в слоях h, c и d разрезов плато Широкое; ж – в шлаках, з – в лавах

небольшую мощность (1,5–2 м), землистый вид, черный, местами красный цвет. От нижележащих игнимбритов, относящихся к третьей пачке, они отделены слоем рыхлых пемзовых агломератовых туфов. Игнимбриты, вскрывающиеся в верхней части разреза на южных склонах плато Широкое (в т.н. 101 и 177), также имеют характерные особенности, позволяющие относить их к пятой пачке, – землистый вид, залегание в виде линзы, выклинивающейся как к западу, так и к востоку, а также минералогические особенности, рассмотренные ниже.

*Отложения шестой пачки*, заполняющие Узон-Гейзерную вулcano-тектоническую депрессию, вскрываются лишь у подножия северных склонов плато Широкое. Подробное описание их есть в работах [1, 3]. По составу это преимущественно озерные осадки – туфы, туфопесчаники, туфогравелиты. Значительное место среди них занимают также экструзивно-эффузивные образования – купола и лавовые потоки риодацитового и риолитового состава [1, 3]. На рис. 2 туфогенно-осадочная часть этой пачки не расчленена, хотя на самом деле она имеет сложное строение и состоит из нескольких самостоятельных стратиграфических единиц, разделенных несогласиями. Общая мощность этих отложений >500 м.

Заканчивая описание отложений, слагающих плато Широкое, необходимо также остановиться на наиболее молодых образованиях, сложенных лавами андезитового состава. Они формируют небольшой вулкан и серию даек северо-северо-восточного простирания в юго-восточной части плато (см. рис. 2).

**Минералогическая характеристика игнимбритов, вскрытых на склонах плато Широкое, и их сопоставление с другими игнимбритами района.** Ранее игнимбриты и лавы дацитового состава, вскрытые в разрезах плато Широкое, рассматривались как относительно древние, составляющие фундамент Узон-Гейзерной депрессии [3]. Проведенные исследования показали, что такие представления ошибочны. Игнимбриты, шлаки и слои лав дацитового состава, описанные выше в составе третьей пачки, составляют единый комплекс, и формирование их тесно связано с формированием Узон-Гейзерной депрессии. Их необходимо сопоставлять с широко развитыми вокруг

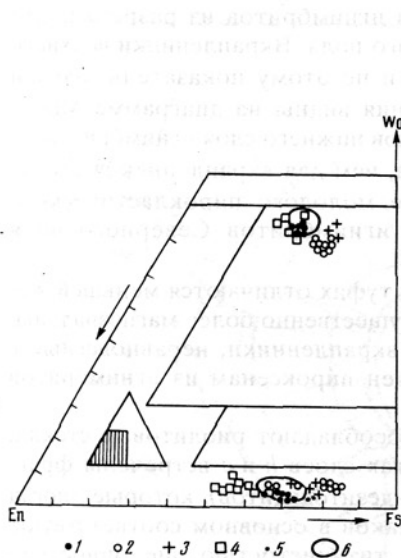


Рис. 6

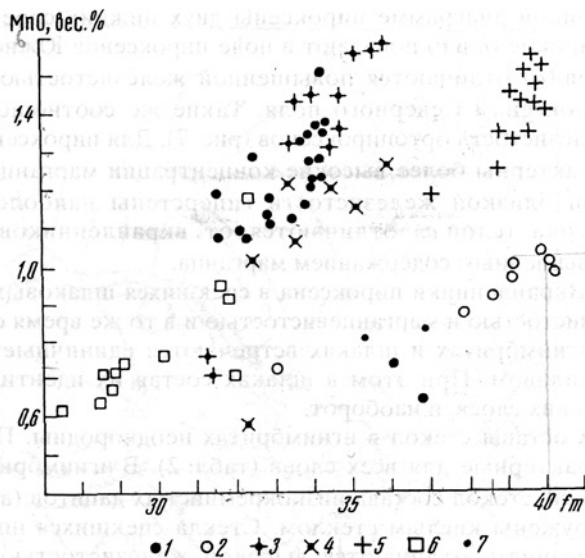


Рис. 7

Рис. 6. Тройная диаграмма En-Wo-Fs составов пироксенов: 1, 2 – в игнимбритах соответственно Южного и Северного полей; 3 – в игнимбритах слоя *d*; 4 – в спекшихся шлаках; 5 – в лавовых потоках; 6 – контур поля пироксенов из игнимбриков слоев *h* и *c*

Рис. 7. Соотношение MnO – железистость (*fm*) в ортопироксенах игнимбриков: 1 – Южного поля; 2 – Северного поля; 3 – слоя *h*; 4 – слоя *c*; 5 – слоя *a*; 6 – шлаков; 7 – лав

депрессии игнимбриками, которые ранее описывались как кроноцкие [13] или узонские [4]. Эти игнимбрики образуют два обширных поля – Северное и Южное. Они детально изучались ранее многими исследователями [3, 6, 17, 18]. Установлено, что помимо пространственной разобщенности игнимбрики северного и южного полей отличаются внешним обликом, составом минеральных фаз и некоторыми петрохимическими особенностями [6].

Для корреляции игнимбриков, вскрытых на склонах плато Широкое, с разрезами, изученными ранее, проведены минералогические исследования этих пород на рентгеновском микроанализаторе "Camebax". Результаты исследований приведены в табл. 2.

Среди плагиоклазов (рис. 5) как в игнимбриках, так и в спекшихся шлаках плато Широкое по составу ядер обособляются три дискретные группы вкрапленников (в игнимбриках слоя *a* описанного выше разреза – одна). Первая группа, представленная кальциевым андезином (40–48% An), преобладает в игнимбриках. При этом в слое *a* они характеризуют фактически весь объем вкрапленников плагиоклаза. Вторую группу образуют кристаллы натриевого лабрадора (54–65% An). Этот плагиоклаз преобладает в спекшихся шлаках, а в игнимбриках нижних слоев (*h*, *c*) встречается в переменном количестве. Обособляется группа высококальциевых плагиоклазов (80–96% An). Если в игнимбриках встречаются единичные вкрапленники битовнита, то в шлаках довольно часто наряду с ним встречается и анортит. Из сопоставления полученных гистограмм распределения составов плагиоклазов с такими же гистограммами, составленными ранее для игнимбриков, связанных с Узон-Гейзерной вулcano-тектонической депрессией, видно, что составы вкрапленников этого минерала в тех и других игнимбриках близки. Возрастание объема натриевых составов характерно для плагиоклазов слоя *a*.

Более показательны в плане корреляции разрезов пироксены. Различия в их составе для игнимбриков Северного и Южного полей достаточно значимы (рис. 6). На

тройной диаграмме пироксены двух нижних слоев игнимбритов из разреза плато Широкое ( $h$  и  $c$ ) попадают в поле пироксенов Южного поля. Вкрапленники верхнего слоя ( $a$ ) отличаются повышенной железистостью и по этому показателю близки пироксенам Северного поля. Такие же соотношения видны на диаграмме  $MnO$  – железистость ортопироксенов (рис. 7). Для пироксенов нижнего слоя игнимбритов ( $h$ ) характерны более высокие концентрации марганца, чем для вкрапленников слоя  $c$ . При близкой железистости гиперстены наиболее молодого пирокластического потока (слой  $a$ ) отличаются от вкрапленников игнимбритов Северного поля повышенным содержанием марганца.

Вкрапленники пироксена в спекшихся шлаковых туфах отличаются меньшей железистостью и марганцевистостью и в то же время существенно более магнезиальны. В игнимбритах и шлаках встречаются единичные вкрапленники, неравновесные с расплавом. При этом в шлаках состав их идентичен пироксенам из игнимбритов нижних слоев, и наоборот.

Составы стекол в игнимбритах неоднородны. Преобладают риолитовые стекла, характерные для всех слоев (табл. 2). В игнимбритах слоев  $h$  и  $c$  встречены фрагменты стекол состава низкремнистых дацитов (андезитодацитов), которые иногда окружены кислым стеклом. Стекла спекшихся шлаков в основном соответствуют андезинам, отличаются высокой железистостью, титанистостью, щелочностью. Встречаются также шлаки, в которых состав стекла отвечает андезитобазальтам.

Проанализированы также низкремнистые дациты лавового потока, залегающего между игнимбритами слоев  $h$  и  $c$ . Среди вкрапленников плагиоклаза в них по составу ядер обособляются две группы (53–57 и 73–78%  $An$ ), сопоставимые со второй и третьей группами, развитыми в игнимбритах и спекшихся шлаках. Ортопироксены по степени железистости и содержанию марганца близки пироксенам из игнимбритов Северного поля.

Таким образом, анализ распределения составов вкрапленников в игнимбритах плато Широкое и в игнимбритах, распространенных вблизи Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии и изученных ранее [6], свидетельствует о том, что два нижних слоя в разрезе плато ( $h$  и  $c$ ) близки по составу кристаллических фаз игнимбритам Южного поля, а верхний, наиболее молодой слой ( $a$ ) – игнимбритам Северного поля. Принимая во внимание, что пироксены игнимбритов двух нижних слоев различаются содержанием марганца, была предпринята попытка расчленения по этому показателю игнимбритов, развитых к югу от кальдеры Узон. Оказалось, что с нижними игнимбритами (слоем  $h$ ) коррелирует пирокластический поток, затекший в кальдеру Большого Семячика (в верховьях реки Большой Семячик), а со средними (слоем  $c$ ) – игнимбриты, распространенные юго-западнее, в речных долинах между хребтом Борт и вулканом Тауншиц.

**Условия формирования пород плато Широкое.** Рассмотренные выше состав и условия залегания пород, слагающих плато Широкое, позволяют сделать вывод, что почти все они формировались в относительно небольших депрессиях или долинах. Прежде всего это касается отложений второй пачки. В настоящее время трудно восстановить конфигурацию существовавшего в период накопления этой пачки озера. Отчетливо проявлены его южные и восточные борта, грубо совпадающие с современной долиной ручья Безымянный и каньоном реки Шумная. В то же время на север и на запад озеро простиралось, по-видимому, еще на 4–5 км, т.е. почти до северных бортов современной Узон-Гейзерной депрессии. Об этом свидетельствуют условия залегания тонкослоистых озерных отложений второй пачки, которые даже в самых северных обнажениях плато Широкое (т.н. 64–66) имеют падение на северо-восток и угол падения  $24^\circ$ , т.е. свидетельствуют, что центр бассейна находился еще дальше к северо-северо-востоку.

Отложения третьей пачки, слагающие юго-восточную часть плато Широкое, формировались в небольшой узкой депрессии, а те части разреза, где встречены выдер-

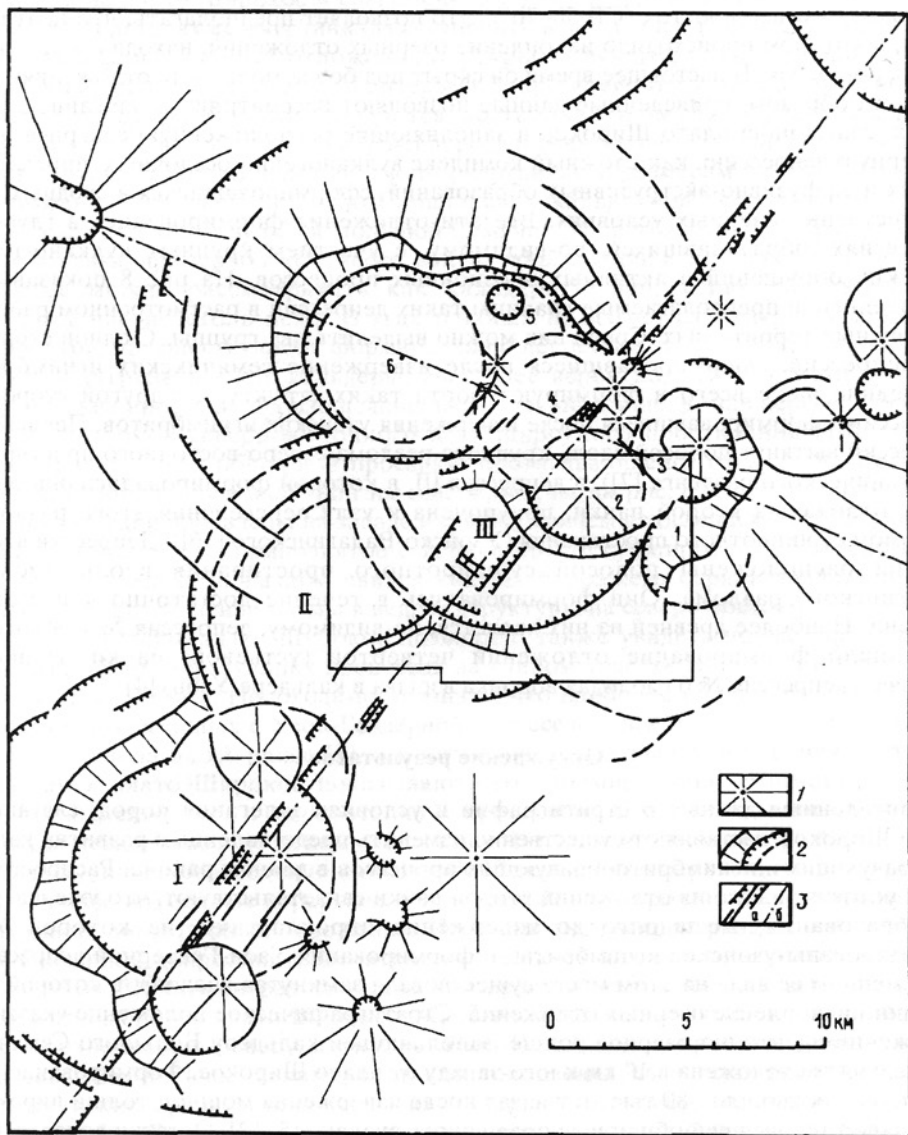


Рис. 8. Установленные и предполагаемые границы кальдер и вулканотектонических депрессий, сформировавшихся после извержения семячских (I–III) и узонских (1–6) игнимбритов: 1 – вулканы; 2 – границы кальдер и вулканотектонических депрессий; 3 – разрывные нарушения (*а* – сбросы и трещины, *б* – осевые линии крупных разломов северо-восточного и широтного простираний вулканического раздвига и Узонско-Валагинского). Четырехугольник – район, показанный на рис. 2

жанные горизонты тонкослоистых туфопесчаников и туфоалевролитов, – в замкнутом озерном бассейне (или нескольких бассейнах, расположенных поблизости). Линза тонкослоистых озерных отложений в этой части разреза отмечена также в работе [3].

Отложения четвертой (устьевой) пачки, слагающие северо-восточную оконечность плато Широкое, как и все последующие вулканогенно-осадочные отложения, заполняющие Узон-Гейзерную депрессию, также формировались в замкнутом озерном бассейне [1, 8]. Границы озера уверенно восстанавливаются лишь в юго-западной его части, на склонах плато Широкое и Горного плато. Все отложения здесь залегают с

падением на северо-восток (СВ 50–70°). Это позволяет предполагать, что центр бассейна, в котором происходило накопление озерных отложений, находился еще далее на северо-восток. В настоящее время он скрыт под более молодыми отложениями.

Таким образом, приведенные данные позволяют рассматривать описанные отложения, слагающие плато Широкое и заполняющие расположенную севернее Узон-Гейзерную депрессию, как сложный комплекс вулканогенно-осадочных, пирокластических и эффузивно-экструзивных образований, сформировавшихся в сходных, преимущественно озерных условиях. Все эти отложения формировались в глубоких депрессиях, образовавшихся, по-видимому, с участием крупных вулканотектонических обрушений и активных эрозионных процессов. На рис. 8 показаны установленные и предполагаемые границы таких депрессий в рассмотренном районе и на смежных территориях. Среди них можно выделить две группы. С одной стороны, это депрессии, сформировавшиеся после извержения семячских игнимбритов (последние чаще всего и формируют борта таких структур); с другой стороны – депрессии, сформировавшиеся после извержения узонских игнимбритов. Первый ряд депрессий вытянут полосой вдоль крупного разлома северо-восточного простирания (Вулканического раздвига [7]), а депрессия III, в которой формировались описанные выше отложения второй пачки, приурочена к узлу пересечения этого разлома с разломом субширотного простирания (Узонско-Валагинского [16]). Депрессии второй группы расположены полосой субширотного простирания вдоль Узонско-Валагинского разлома. Они формировались в течение достаточно длительного времени. Наиболее древней из них является, по-видимому, депрессия № 1, в которой произошло формирование отложений четвертой (устьевой) пачки. Наиболее поздняя – депрессия № 6 (молодая воронка взрыва в кальдере Узон) [4].

### Обсуждение результатов

Приведенные данные о стратиграфии и условиях залегания пород, слагающих плато Широкое, заставляют существенно изменить представления о развитии кальдерообразующих и игнимбритообразующих процессов в данном районе. Распространение и условия залегания отложений второй пачки свидетельствуют, что уже в период ее образования, т.е. задолго до извержения пирокластике, из которой были сформированы узонские игнимбриты, и формирования Узон-Гейзерной депрессии в современном ее виде на этом месте существовала замкнутая впадина, в которой происходило накопление озерных отложений. Стратиграфическое положение указанных отложений идентично озерной толще, заполняющей кальдеру Большого Семячика. Последняя расположена в 10 км к юго-западу от плато Широкое. Формирование этой кальдеры произошло ~80 тыс. лет назад после извержения мощной толщи пирокластике, сформировавшей обширные поля вокруг вулкана [5, 12]. Остатки докальдерной постройки (хребет Борт) сохранились к западу от кальдеры. Очертания хребта (он состоит как бы из трех дуг) свидетельствуют о сложном строении кальдеры – она, по-видимому, состояла из нескольких слившихся депрессий, вытянутых полосой северо-северо-восточного простирания (см. рис. 8). Образовавшаяся впадина была заполнена озерными отложениями, мощная толща которых вскрывается в настоящее время в глубоких врезках реки Старый Семячик, протекающей к востоку от хребта Борт. Среди озерных отложений, так же как среди отложений второй пачки на плато Широкое, встречаются мощные слои лав андезитового состава. Выше эти отложения перекрываются игнимбритами, заполнившими долину реки Старый Семячик. По минералогическим особенностями указанные игнимбриты сопоставляются с нижним слоем (*h*) игнимбритов третьей пачки плато Широкое.

Таким образом, есть все основания считать, что озерные отложения, заполнившие кальдеру Большой Семячик, и озерные отложения, относящиеся ко второй пачке плато Широкое, формировались одновременно. Депрессия, в которой шло их накопление, могла быть единой. Она протягивалась от кальдеры Большой Семячик на



юге до района плато Широкое и современной Узон-Гейзерной депрессии – на севере (см. рис. 8). В деталях ее очертания восстановить в настоящее время трудно, так как во многих местах озерные отложения перекрыты игнимбритами, связанными со сформировавшейся позже Узон-Гейзерной депрессией. В то же время основные черты ее строения восстанавливаются достаточно отчетливо. Депрессия, по-видимому, была вытянута в северо-северо-восточном направлении и несколько расширялась на севере. В целом по своим очертаниям и размерам она была близка к расположенной южнее Карымско-Семячической кальдерной системе [14]. Если в южной части, в районе вулкана Большой Семячик, депрессия была сформирована в центре массива, примерно в том месте, откуда происходили извержения игнимбритов [12], и ее можно рассматривать как кальдерную депрессию, то севернее ее происхождение не столь ясно. В этих районах не известны центры извержения игнимбритов, предшествующих формированию депрессий, и, соответственно, они не могут рассматриваться как кальдеры. Наиболее вероятно, что это были вулканотектонические просадки, произошедшие в ослабленной зоне, в узле пересечения двух крупных разломов северо-восточного и субширотного простираний [10]. Общие черты строения этой обширной просадки, протягивающейся от вулкана Большой Семячик на юге до вулкана Узон на севере, видны на рис. 8. Наиболее отчетливо границы просадки проявлены на западе и севере, причем в последнем случае границей является относительно приподнятое северное крыло субширотного Узонско-Валагинского разлома [16]. Разлом явился как бы барражем, ограничившим предполагаемое распространение магмы в недрах структуры на северо-восток [11].

Изучение района плато Широкое позволило также увидеть новые черты в развитии игнимбритообразующих процессов на данном участке Восточно-Камчатского вулканического пояса. Необходимо признать, что наиболее полные разрезы толщи игнимбритов, связанных с Узон-Гейзерной депрессией, вскрыты не к северу от нее, как это предполагалось ранее [3], а к югу. Описанные выше отложения третьей и пятой пачек плато Широкое показывают, что формирование игнимбритов было длительным, сложным и многоэтапным процессом. Его длительность могла исчисляться несколькими десятками тысяч лет. В целом игнимбриты разбиваются на три толщи – нижнюю, среднюю и верхнюю. Между их формированием фиксируются значительные временные перерывы, в течение которых происходили излияния лав и образование линз озерных отложений. Игнимбриты, распространенные к северу от Узон-Гейзерной депрессии (рассматриваемые ранее как основная толща узонских игнимбритов [3]), по минералогическим критериям сопоставляются с верхней частью разреза игнимбритов плато Широкое. Изучение состава пироксенов в игнимбритах, распространенных к северу и югу от Узон-Гейзерной депрессии, показало, что пироксены из "южных" игнимбритов кристаллизовались в условиях повышенной активности кислорода, а пироксены из "северных" игнимбритов – при низкой его активности [6]. Это соответствует постепенному падению флюидного давления в коровом магматическом резервуаре, из которого происходили извержения пирокластики. Расплав, из которого формировались наиболее поздние игнимбриты (широко развитые на Северном поле), характеризовался незначительной степенью насыщения летучими компонентами.

Вывод о том, что игнимбриты, распространенные к северу от Узон-Гейзерной депрессии, относятся к наиболее молодой, верхней части узонских игнимбритов, вновь ставит вопрос о возрасте игнимбритов и о времени образования Узон-Гейзерной депрессии. Полученная ранее дата в 39–40 тыс. лет [15] характеризует примерный возраст игнимбритов Северного поля и не может быть отнесена к узонским игнимбритам в целом. Нижняя и средняя части разреза игнимбритов, вскрытых на плато Широкое и не обнаруженных в пределах Северного поля, могут иметь значительно более древний возраст. Нижняя возрастная граница их может быть близка к 80 тыс. лет – возрасту верхней пачки игнимбритов, связанных с кальдерой Большого Семячика [5].

Важное значение для понимания процессов, происходящих при формировании толщи узонских игнимбритов и образовании Узон-Гейзерной депрессии, имеет выделение особого типа пирокластических пород, которые названы "игнимбриты андезитобазальтового состава" [22]. Эти породы близки к слоям грубой пирокластики, обогащенной шлаками на вулкане Санторин в Греции [25], а также к "красным туфам с черными шлаками" в вулканической области Сабатини в Италии [21]. Подобные породы описаны также ранее на вулкане Большой Семячик [5]. В разрезе пирокластики третьей пачки плато Широкое, показанном на рис. 3, эти отложения обозначены как слои шлаков. Наиболее крупным и протяженным из них присвоены индексы *i* и *d*. В основании слоя *d* залегают стратифицированные слоистые отложения небольшой мощности, состоящие из нескольких выделяющихся в рельефе плотных тонких (мощностью до 15–20 см) слоев пепловых туфов и туфопесчаников (рис. 3, слой *e*). Совместный разрез слоев *e* и *d* полностью идентичен разрезу слоя Upper Scoria в работе [25]. В обоих случаях под шлаковыми отложениями залегают маломощные выдержанные слои тонких пеплов и туфопесчаников. Последние в работе [25] рассматриваются как отложения базисной волны (base surgebeds). В целом же, как показали Р.А. Меллорс и Р.С. Спаркс [25], в происхождении данных шлаковых отложений большое значение имела вода, поступавшая в магматическую систему; их извержения имели гидромагматическую природу. Ранее данные породы рассматривали как результат внедрения в верхнюю часть магматического резервуара магмы из более глубоких его горизонтов [22]. По-видимому, в происхождении данных пород важны были оба названных процесса. Необходимость присутствия воды, которая отмечена в работе [25], позволяет предположить, что извержения пирокластики, сформировавшей описанные выше слои шлаков, как и узонские игнимбриты в целом, происходили из депрессий, в значительной мере заполненных водой. Соотношение воды и магмы во многом определяло характер извержений и появление отложений различного типа. Как и при извержении вулкана Везувий в 79 г., здесь, по-видимому, сменялись выбросы пемзы, горячих сухих волн, горячих сухих пирокластических потоков, грязевых потоков и лахар [27]. При этом не происходило крупнообъемных извержений, отдельные выбросы были сравнительно небольшими и не приводили к катастрофическому опустошению близповерхностного магматического очага и обрушению его кровли. В связи с этим Узон-Гейзерную депрессию можно рассматривать как результат слияния серии воронок, сформировавшихся при этих, относительно небольших взрывах.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 96-05-66243 и проект материально-технической базы фундаментальных исследований 95-05-16587).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов В.И., Гриб Е.Н., Леонов В.Л. Геологические позиции гидротермальных систем Долины Гейзеров и кальдеры Узон // Вулканология и сейсмология. 1983. № 1. С. 65–79.
2. Богоявленская Г.Е., Брайцева О.А. О генетической классификации пирокластических отложений и типах отложений извержения вулкана Безымянный 1955–1956 гг. // Вулканология и сейсмология. 1988. № 3. С. 39–55.
3. Брайцева О.А., Богоявленская Г.Е., Эрлих Э.Н. Геологическое строение Узонско-Гейзерной депрессии // Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. М.: Недра, 1974. С. 10–32.
4. Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. М.: Недра, 1974. 264 с.
5. Гриб Е.Н., Леонов В.Л. Игнимбриты кальдеры Большой Семячик (Камчатка): состав, строение, условия образования // Вулканология и сейсмология. 1992. № 5–6. С. 34–50.
6. Гриб Е.Н., Леонов В.Л. Игнимбриты Узон-Гейзерной вулcano-тектонической депрессии. Камчатка: сопоставление разрезов, состав, условия образования // Вулканология и сейсмология. 1993. № 5. С. 15–33.

7. Леглер В.А. Новейшие разломы и горизонтальные тектонические движения Восточной Камчатки: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Хабаровск, 1978. 16 с.
8. Леонов В.Л. Геологическое строение каньона р. Шумной и Узонско-Гейзерная депрессия на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1982. № 2. С. 100–104.
9. Леонов В.Л. Разрывные нарушения района Узонско-Гейзерной депрессии // Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С. 78–84.
10. Леонов В.Л. Структурные условия локализации высокотемпературных гидротерм. М.: Наука, 1989. 104 с.
11. Леонов В.Л. О некоторых закономерностях развития гидротермальной и вулканической деятельности на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1991. № 2. С. 28–40.
12. Леонов В.Л., Гриб Е.Н. Вулкан Большой Семячик // Действующие вулканы Камчатки. Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 144–159.
13. Пийп Б.И. Кроноцкие игнимбриты на Камчатке // Тр. Лаб. вулканологии АН СССР. 1961. Вып. 20. С. 90–91.
14. Селянзин О.Б. Петрогенезис базальт-дацитовая серии в связи с эволюцией вулканоструктур. М.: Наука, 1987. 148 с.
15. Флоренский И.В. К вопросу о возрасте кальдер Узон и Крашенинникова // Вулканология и сейсмология. 1984. № 1. С. 102–106.
16. Шанцер А.Е. Некоторые особенности эволюции тектоно-магматических структур Камчатки в зависимости от ее блокового строения и движения блоков в позднем кайнозое // Бюл. вулканол. станций. 1979. № 57. С. 53–65.
17. Шеймович В.С. Игнимбриты Камчатки. М.: Недра, 1979. 179 с.
18. Шеймович В.С., Брайцева О.А., Краевая Т.С. Четвертичные игнимбриты Семячикского района на Камчатке // Кислый вулканизм. Новосибирск: Наука, 1973. С. 110–120.
19. Эрлих Э.Н., Брайцева О.А., Боговявленская Г.Е. Геологическая история и вулканизм Узонско-Гейзерной депрессии и сравнение ее со смежными вулканотектоническими депрессиями Восточной Камчатки // Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. М.: Недра, 1974. С. 60–69.
20. Yeys Jr.F.M., Carr W.J., Orkild P.R. Volcanic Centers of Southwestern Nevada: Evolution of Understanding, 1960–1988 // J. Geophys. Res. 1989. V. 94. B. 5. P. 5908–5924.
21. Cavarretta G., De Rita D., Rosa C., Sposato A. The Red tuff with black scoria ignimbrite of the Sabatini volcanic district (Northwest of Rome, Central Italy) // Int. Volcanol. Congr., Ankara. Sept. 12–16, 1994: Abstr. / IAVCEI – Ankara, 1994 (Theme 4).
22. Leonov V.L., Grib E.N. Ignimbrites of Basaltic – Andesite Composition // 30th Int. Geol. Congress. 4–14 August 1996, Beijing China: Abstr. – Beijing, 1996.
23. Lipman P.W. The roots of ash flow calderas in western North America: Windows into the tops of granitic batholiths // J. Geophys. Res. 1984. V. 89. P. 8801–8841.
24. Lipman P.W. Ash-flow calderas as structural controls of ore deposits – recent work and future problems // U.S. Geol. Surv. Bull. 1992. № 2012. P. L1–L12.
25. Mellors R.A., Sparks R.S.J. Spatter-rich pyroclastic flow deposits on Santorini, Greece // Bull. Volcanol. 1991. V. 53. P. 327–342.
26. Rytiba J.J. Evolution of volcanic and tectonic features in caldera settings and their importance in the localization of ore deposits // Econ. Geol. 1994. V. 89. № 8. P. 1687–1696.
27. Sheridan M.F., Wohletz K.H. Hydrovolcanic explosions: the systematics of water-pyroclast equilibration // Science. 1981. № 212. P. 1387–1389.

Институт вулканологии ДВО РАН,  
Петропавловск-Камчатский

Поступила в редакцию  
30.12.1996