

# ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ГЕОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА

УДК 552.122:552.323.1(234.852)

## Процессы ликвации в риолитах лядгейского комплекса хребта Енганепэ (Полярный Урал)

Т.А. Вовчина

Институт геологии им. акад. Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН  
167000, Сыктывкар, ул. Первомайская, 54. E-mail: ta\_kaneva@mail.ru  
(Статья поступила в редакцию 8 ноября 2023 г.)

В экструзивно-субвулканическом образовании кислого состава лядгейского комплекса ( $\lambda V_2ld$ ) южной части хребта Енганепэ установлены риолиты с необычными текстурно-структурными особенностями. Петрографическое и минералогическое изучение тонкополосчатого ритмичного строения и шаровидных обособлений в риолитах позволило выявить генезис данных особенностей. Наличие вторичных изменений в виде серицита и хлорита, свидетельствующих о большом содержании флюидов (воды) в породе, которые приводят к расслоению расплава, и закономерные различия химических составов в риолитах позволяют объяснить это процессами ликвации.

Ключевые слова: *полосчатые, сферолоидные риолиты, лядгейский комплекс, ликвация, Енганепэ.*

DOI: 10.17072/psu.geol.23.1.1

### Введение

Гипабиссальные породы при своем становлении имеют, как правило, сложные текстурно-структурные особенности, выраженные в образовании вариолитовых (сферолитовых или сферолоидных) структур и полосчатых текстур. Образование подобных структур и текстур в кислых лавах многими исследователями объясняется процессами ликвации (Воловикова и др., 1962; Короновский и др., 1976; Маракушев и др., 1979; Пугин и др., 1980; Самаркин и др., 2004). Ликвация (разделение первоначально однородного расплава на несколько разных несмешивающихся жидкостей) происходит при понижении температуры. Есть другая точка зрения, предполагающая расслоение расплава вследствие неравномерной дегазации лавы, что приводит к неоднородному затвердеванию расплава, расслоению его по вязкости и, как следствие, к образованию полосчатых текстур (Мишин, 1994; Летников, 1997; Голубева, 1999).

При изучении кислых пород экструзивно-субвулканического тела лядгейского комплекса ( $\lambda V_2ld$ ) между ручьями Правый и

Левый Изъявож южной части хребта Енганепэ (Полярный Урал) были выявлены их необычные текстурно-структурные особенности, обусловленные тонкополосчатым ритмичным строением и наличием шаровидных обособлений. Поэтому была поставлена задача выяснения генезиса данных особенностей, учитывая разные точки зрения на их образование.

### Геологическое строение района исследования

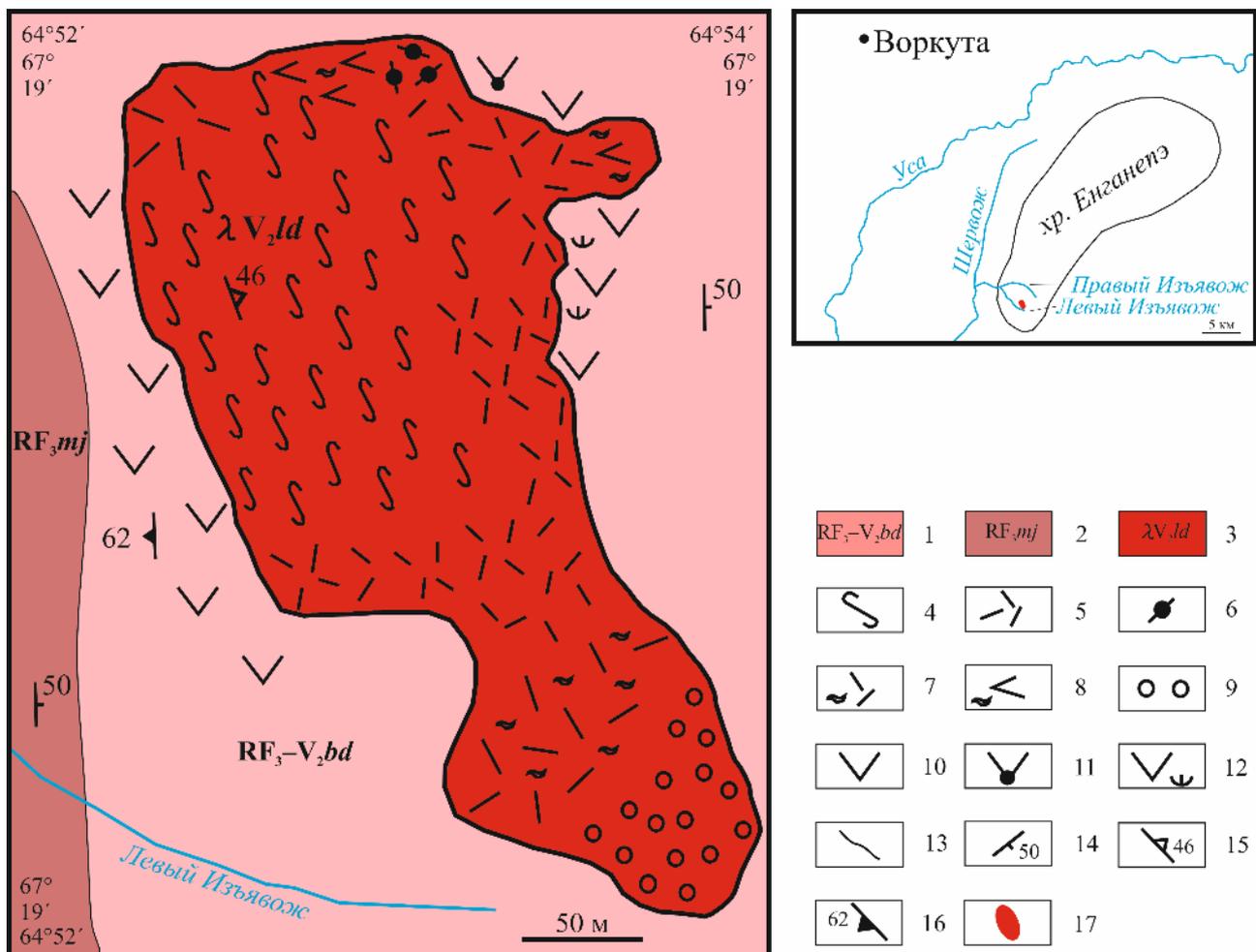
Хребет Енганепэ расположен на юго-западном склоне Полярного Урала в 50 км к юго-востоку от г. Воркута. Он представляет собой брахиантиклиналь северо-восточного простирания, в ядре которой вскрыты породы фундамента – докембрийские осадочные, вулканогенно-осадочные и вулканические стратифицированные комплексы – отложения манюкуяхинской свиты (RF<sub>3mj</sub>), бедамельской серии (RF<sub>3-V<sub>2</sub>bd</sub>) и енганепэской свиты (V<sub>2</sub>-C<sub>1en</sub>). Крылья антиклинали сложены породами палеозойского структурного этажа, отделенного от образований

фундамента угловым, стратиграфическим и азимутальным несогласиями.

Среди магматических горных пород, развитых в южной части хребта Енганепэ, выделяется множество мелких и крупных поздневендских экструзивно-субвулканических образований лядгейского комплекса ( $\lambda V_2ld$ ), которые локализованы в верхах бедамельской серии и комагматичны кислым покровным образованиям (Шишкин и др., 2004).

Ранее изученное нами крупное образование обладает неоднородным строением,

обусловленным зональным расположением разновидностей пород. Установлено, что центральную часть тела слагают флюидалные риолиты, которые к востоку замещаются однородными массивными разновидностями. Риолиты массивного облика сменяются кластолавами риолитового и дацитового составов, выходы которых сохранились лишь в южной и северо-восточной частях постройки соответственно.



**Рис. 1.** Схема геологического строения экструзивно-субвулканического тела лядгейского комплекса ( $\lambda V_2ld$ ) южной части хребта Енганепэ, Полярный Урал (Составлена по материалам ГДП-200 ЗАО «ГТК МИРЕКО» (Государственная..., 2013) с дополнениями автора): 1 – бедамельская серия нерасчлененная ( $RF_3-V_2bd$ ): базальты, андезибазальты, андезиты, дациты, риолиты и их кластолавы и туфы; 2 – манюкяхинская свита ( $RF_3mj$ ): метаалевропесчаники, метаалевролиты, углеродисто-кремнисто-глинистые сланцы, прослои известняков; 3 – лядгейский комплекс риолитовый ( $\lambda V_2ld$ ); 4 – флюидалные риолиты; 5 – массивные риолиты; 6 – трахириолиты; 7 – кластолава риолитового состава; 8 – кластолава дацитового состава; 9 – сферолоидные риолиты; 10 – андезиты; 11 – туф трахиандезитового состава; 12 – туф андезитового состава; 13 – согласные границы стратиграфических подразделений; элементы залегания: 14 – слоистости, 15 – плоскостных структур течения, 16 – сланцеватости пород, 17 – объект исследования

Юго-восточная часть экструзивного тела сложена риолитами со сфероидной структурой. В кислых разностях присутствуют признаки течения. Вмещающие породы обнажаются только на западном и северо-восточном склонах тела и представлены андезитами и их туфами бедамельской серии (RF<sub>3</sub>–V<sub>2</sub>bd) (Вовчина, 2022).

Риолиты являются перглиноземистыми вулканическими породами нормальной щелочности и проявляют надсубдукционные островодужные геохимические черты.

Абсолютный возраст риолитов лядгейского комплекса определен по единичным цирконам U-Pb методом на ионном микрозонде SHRIMP-II в ЦИИ ВСЕГЕИ в интервале 555–547 млн лет и отвечает основанию верхнего венда (Шишкин, 2004).

### Методика исследований

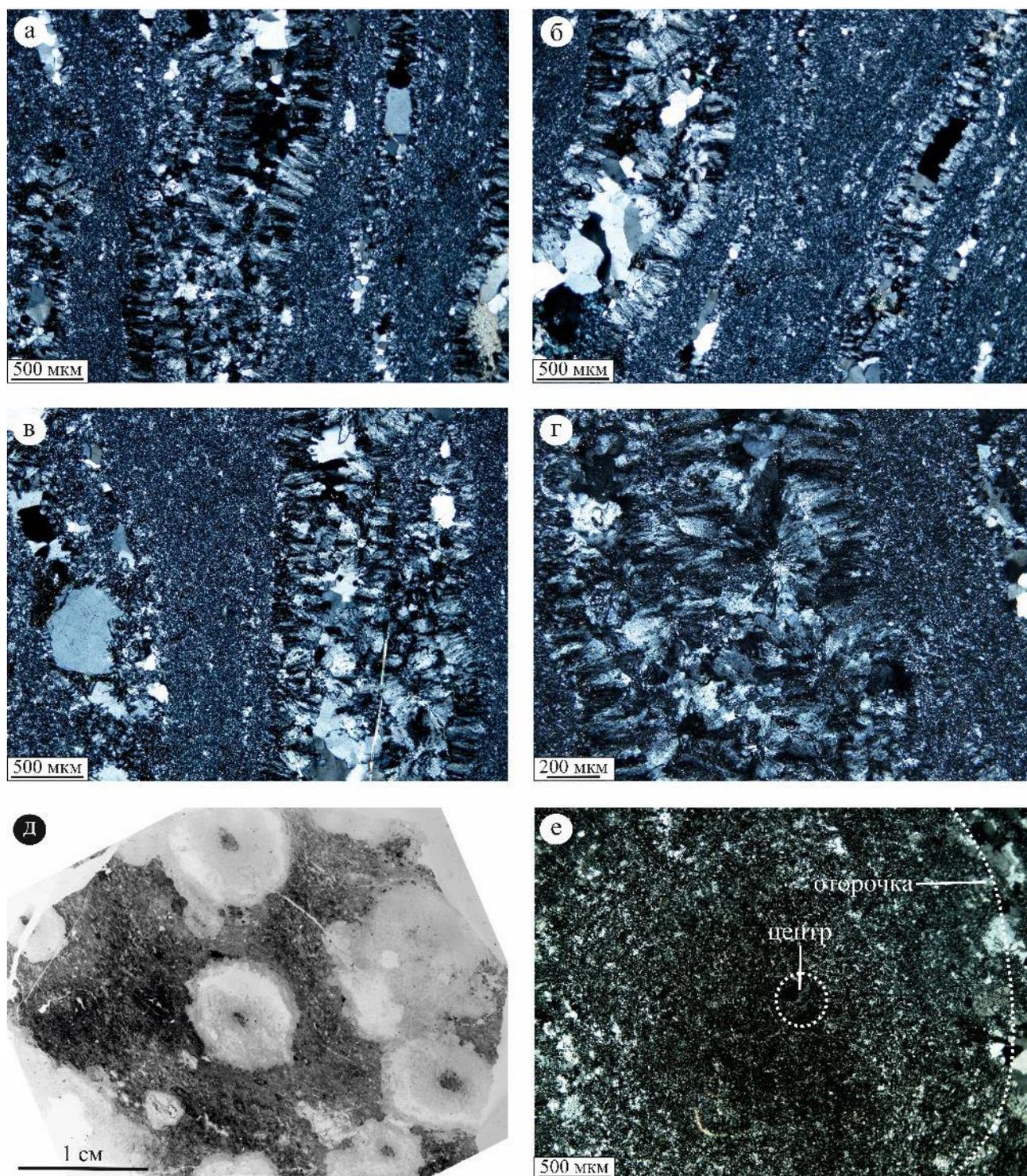
Работа выполнена с использованием научного оборудования ЦКП «Геонаука» ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Минеральный состав и текстурно-структурные особенности пород изучались в прозрачных шлифах на исследовательском микроскопе OLYMPUS BX51. На сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсионным спектрометром X-MAX 50mm Oxford Instruments было выполнено сканирование сфероидных и полосчатых риолитов по профилям, диаметр пучка составил 180 нм.

### Петрографические особенности пород

Полосчатые, или флюидалные, риолиты характеризуются чередованием молочно-белых и темно-серых слоев толщиной от 0,05 до 2 мм на макроуровне, подобном структурам ламинарного течения (рис. 2 а). Породы обладают линзовидно-полосчатой текстурой и редкпорфировой структурой. Молочно-белые слои обладают большей толщиной и состоят из скрытокристаллической (кварц-

полевошпатовая) массы с единичными зернами акцессорного циркона и монацита. Темно-серые линзовидные слои имеют зональное строение: внешняя оторочка сложена калиевым полевым шпатом в форме друзочек, располагающихся перпендикулярно относительно границ линзы, нередко встречаются чешуйки биотита, хлорита (рипидолит, брунсвит) и рудный минерал – ильменит, а внутренняя (центральная) часть участков линз чаще сложена радиально-лучистыми сферолитами того же калиевого полевого шпата (рис. 2 а, г) и реже изометричными зернами кварца (рис. 2 б). В центре сфероидов развивается хлорит, что указывает на содержание воды в линзовидных слоях (рис. 2 г).

Сфероидные риолиты имеют плотное сложение и темно-серую окраску с овально-вытянутыми сфероидными белыми и красновато-бордового цвета (рис. 2 г). В микрофлюидальной, флюидалной кварц-полевошпатовой основной массе заключены вытянутые и удлиненные по направлению течения сфероиды. Они распределены по одному или группами из нескольких индивидов. Размеры сфероидов меняются от 0,6 до 10 мм. Внутренняя часть их сложена микрозернистым кварц-полевошпатовым агрегатом. Нередко в центральной части сфероидов развивается магнетит или хлорит (рис. 2 е). Оторочка сфероидов представлена неправильными зернами кварца размером 0,3–0,5 мм (рис. 2 е). Во флюидалной текстуре основной массы из-за большой вязкости кислой лавы при течении образовались изогнутые полости, в которых кристаллизуется зернистый кварц. По основной массе развивается вторичный серицит, свидетельствующий о большом содержании воды в породе. В сфероидных риолитах были установлены минералы редких земель – монацит, алланит и несколько крупных (до 0,03×0,07 мм) неидентифицированных минералов группы эшинита. Акцессорные минералы представлены несколькими крупными зернами циркона.



**Рис. 2.** Полосчатый (флюидальный) (а-г, обр. 807-15) и сферолоидный (д-е, обр. 818-1) риолит. Фото (а-г, е) с анализатором

### Обсуждение результатов

Методом электронного сканирования на спектральном электронном микроскопе нами было выполнено исследование образцов полосчатых и сферолоидных риолитов, чтобы проследить «усредненные» концентрации

элементов в выделяющихся зонах по заданному направлению (рис. 3, таблица).

Полосчатые риолиты сканировались по профилям, ориентированным поперек полосчатости (рис. 3 б). В результате выяснилось, что темные слои содержат больше  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Na}_2\text{O}$ , а светлые –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и  $\text{FeO}$  (рис. 3 в).

Сферолоидные риолиты сканировались по диаметру сферолоида (рис. 3 д). Центральная (ядро) и внутренняя его части содержат повышенное содержание  $\text{SiO}_2$  и пониженное –  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и  $\text{FeO}$ . Оторочка центра (точки 4 и 6, рис. 3 д) и оторочка самого сферолоида (точки 1 и 9, рис. 3 д) имеют схожие химические составы.

На треугольной диаграмме нормативных составов ортоклаз (Or) – кварц (Qtz) – альбит (Ab) (рис. 4 а, таблица) точки составов темных слойков (1, 3, 5, 9) в полосчатом риолите образуют явный тренд в сторону кварцевой вершины и являются низкотемпературными, имеют трехкомпонентный кварц-полевошпатовый состав. Светлые слойки (рис. 4 а, точки 3, 4, 6, 8) бескварцевые с двухкомпонентным полевошпатовым составом, более

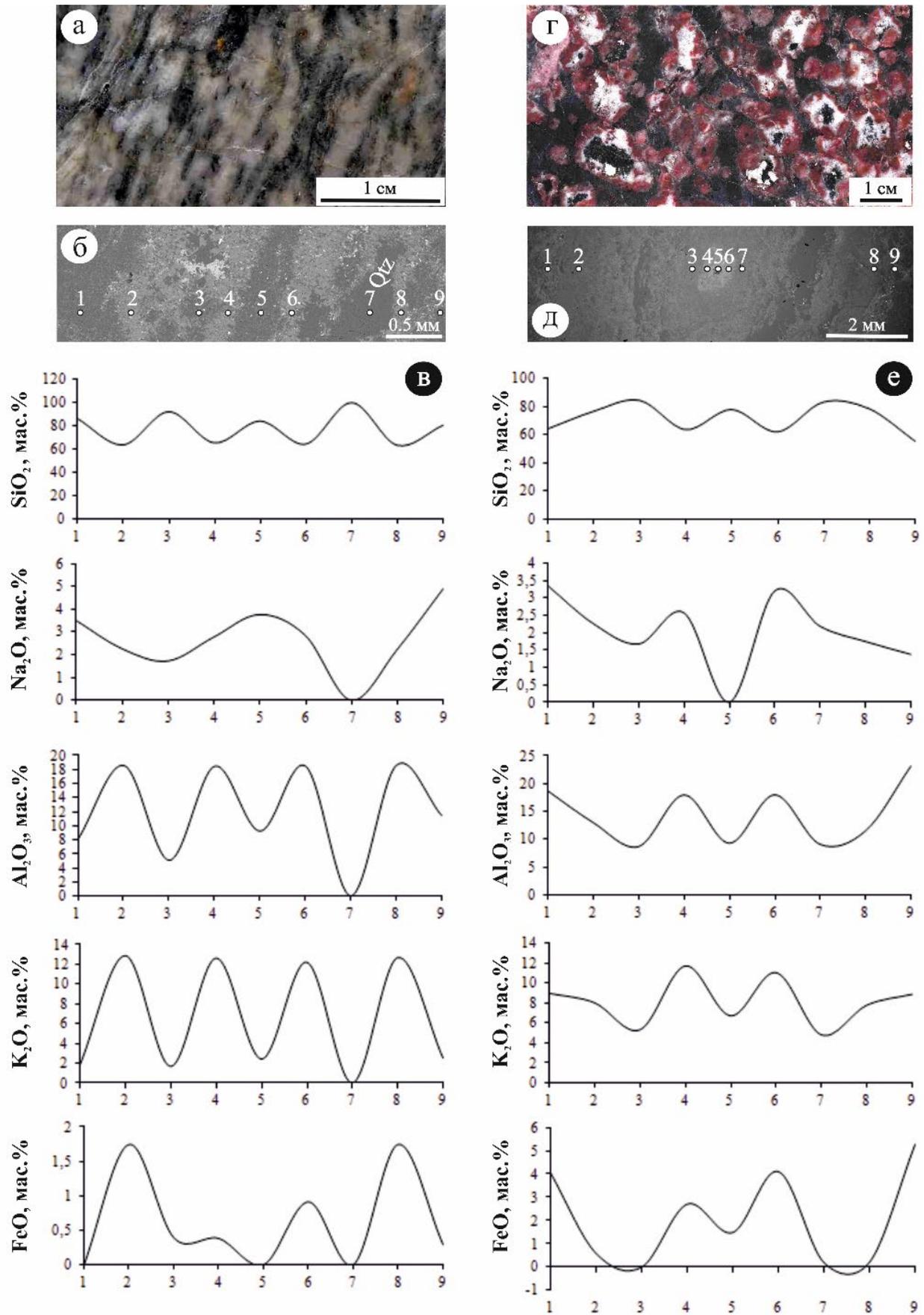
высокотемпературные. Мы предполагаем, что флюиды концентрируются в темных слойках и понижают температуру кристаллизации, то есть идет образование трехкомпонентной эвтектики.

В сферолоидных риолитах установлены 3 зоны с разным эвтектическим составом. Центральная зона характеризуется двухкомпонентной эвтектикой, где ядро представлено кварц-ортоклазовой эвтектикой (рис. 4 б, точка 5), а оторочка центра (ядра) в основном альбит-ортоклазовым составом (рис. 4 б, точки 4 и 6). Внутренние зоны и оторочка сферолоида имеют трехкомпонентный кварц-полевошпатовый состав с тенденцией снижения кварцевого компонента к краю сферолоида (рис. 4 б).

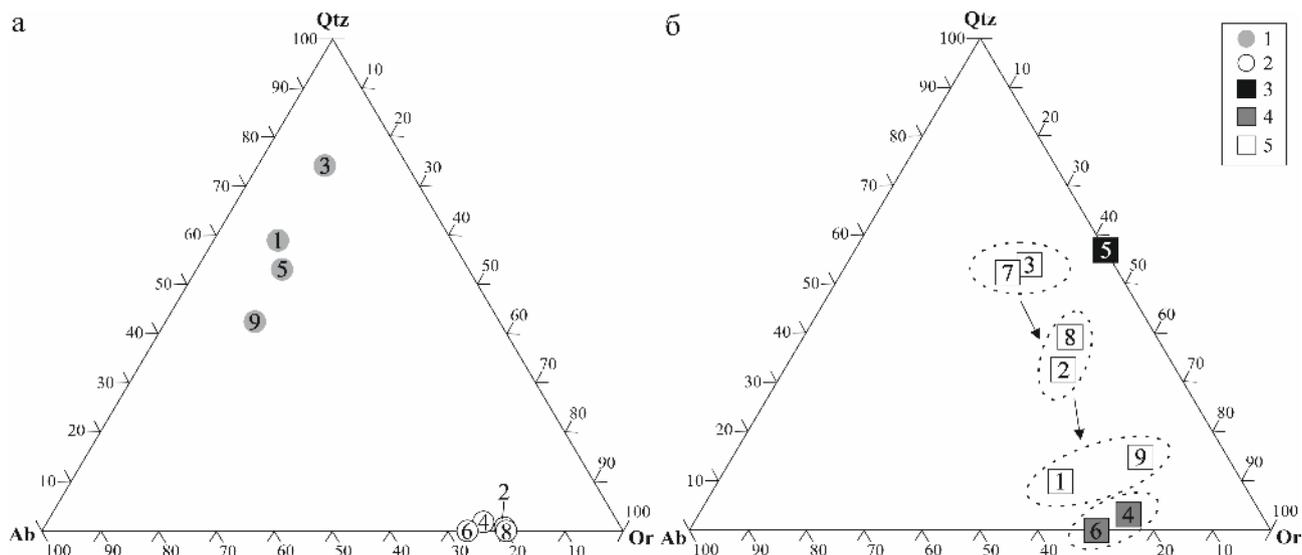
**Таблица.** Усредненные результаты микроанализа  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  (мас. %) полосчатых (обр. 807-15) и сферолоидны (обр. 818-1) риолитов

№ образца	№ усредненного анализа	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{FeO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	Ab	Q	Or
807-15	1	86,78	8,21	0,00	3,53	1,82	29,74	59,15	10,71
	2	63,82	18,64	1,74	2,28	12,90	19,27	0,00	76,15
	3	92,47	5,08	0,39	1,73	1,69	14,43	74,67	9,84
	4	65,59	18,52	0,38	2,78	12,64	23,48	0,91	74,54
	5	84,41	9,25	0,00	3,78	2,43	31,95	53,19	14,34
	6	64,56	18,55	0,91	2,86	12,22	24,18	0,43	72,13
	7	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
	8	63,45	18,64	1,74	2,24	12,69	18,93	0,00	74,91
	9	80,85	11,47	0,29	4,91	2,52	41,49	42,45	14,87
818-1	1	64,06	18,64	4,05	8,96	3,36	28,40	9,46	52,89
	2	76,53	12,93	0,59	8,01	2,27	19,13	32,62	47,13
	3	84,29	8,61	0,00	5,28	1,68	14,20	54,37	31,17
	4	63,57	17,90	2,71	11,73	2,58	21,81	3,71	69,24
	5	77,77	9,22	1,49	6,69	0,00	0,00	51,74	39,49
	6	61,91	17,92	4,11	11,05	3,21	27,98	0,40	65,23
	7	83,09	9,01	0,20	4,76	2,19	18,51	52,20	28,10
	8	78,39	11,43	0,21	7,77	1,75	14,79	38,53	45,87
	9	55,25	23,09	5,27	8,86	1,38	11,67	11,74	52,30

*Примечание.* Номер точки микроанализа см. рис. 4. Микроанализ выполнен на спектральном электронном микроскопе Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсионным спектрометром X-MAX 50mm Oxford Instruments в ЦКП «Геонаука» ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). В таблице результаты Ab, Q, Or пересчитаны на норму CIPW



**Рис. 3.** Результаты сканирования полосчатых (**а**, **б**, **в**) и сферулоидных (**г**, **д**, **е**) риолитов лядгейского комплекса: **а**, **г** – общий вид породы на макроуровне; **б**, **д** – взаимоотношения минералов в риолитах, фото в обратно рассеянных электронах; **в**, **е** – кривые распределения элементов



**Рис. 4.** Треугольная диаграмма ортоклаз (Or) – кварц (Qtz) – альбит (Ab) нормативных составов плосчатых (а) и сферолоидных (б) риолитов. Условные обозначения: 1 – темные и 2 – светлые полосы в полосчатом риолите; 3 – центр (ядро), 4 – оторочка центра и 5 – внутренняя часть сферолоида и его оторочка. Цифры на рис. 4 соответствуют цифрам на рис. 3

### Заключение

Петрографическое и минералогическое изучение тонкополосчатого ритмичного строения и шаровидных обособлений в риолитах экструзивно-субвулканического тела лядгейского комплекса ( $\lambda V_2ld$ ) южной части хребта Енганепэ (Полярный Урал) позволило выяснить генезис данных особенностей в породе.

В результате электронного сканирования риолитов по заданному направлению от точки к точке оказалось, что «усредненные» концентрации элементов в выделяющихся зонах различаются. Так, в полосчатых риолитах темные слои содержат больше  $SiO_2$  и  $Na_2O$ , а светлые –  $Al_2O_3$ ,  $K_2O$  и  $FeO$ . В сферолоидных риолитах от центра к краю сферул увеличиваются содержания  $Na_2O$ ,  $Al_2O_3$ ,  $K_2O$  и  $FeO$ , а также уменьшается концентрация  $SiO_2$ .

Исследование чередующихся темных и светлых слоев в полосчатых риолитах позволило выявить, что флюиды концентрируются в темных слоях и понижают температуру кристаллизации, то есть идет образование трехкомпонентной эвтектики. Светлые слои являются бескварцевыми с двухкомпонентным полевошпатовым составом и,

соответственно, более высокотемпературными.

В сферолоидных риолитах прослеживается резкое различие химических составов в слоях сферолоида и установлено 3 этапа, связанных с остыванием расплава: 1) центральная с двухкомпонентной кварц-ортоклазовой эвтектикой; 2) оторочка центра с альбит-ортоклазовым составом; 3) внутренняя зона и оторочка сферолоида с трехкомпонентным кварц-полевошпатовым составом, где наблюдается тенденция снижения кварцевого компонента к краю сферолоида.

Выявленные закономерности наиболее наглядно можно проследить на треугольной диаграмме Or–Qtz–Ab, а полученные данные позволяют сделать вывод о проявлении в кислых вулканиках экструзивно-субвулканического тела лядгейского комплекса процессов ликвации.

Исследователи, изучавшие причину ликвации в однородных силикатных магмах, пришли к выводу, что главным механизмом, приводящим к расслоению расплава, является воздействие флюидов, в частности воды. В изученных породах «следы» присутствия воды наблюдаются во вторичных изменениях – наличии серицита и хлорита.

*Работа выполнена в рамках темы НИР «Глубинное строение, геодинамическая эволюция, взаимодействие геосфер, магматизм, метаморфизм и изотопная геохронология Тимано-Североуральского литосферного сегмента» Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.*

*Автор признателен к.г.-м.н., старшему научному сотруднику ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН И.И. Голубевой за значительную помощь при написании статьи и полезные советы.*

### Библиографический список

*Вовчина Т.А.* Строение, петрография и петрогеохимия кислых пород экструзивно-субвулканического тела южной части хребта Енганепэ (Полярный Урал) // Вестник геонаук. 2022. 12 (336). С. 20–28. DOI: 10.19110/geov.2022.12.3

*Воловикова И.М., Елисеева О.П.* К вопросу об образовании шаровых лав в кислых эффузивах Кураминского хребта (Средняя Азия) // Вопросы вулканизма. М.: Изд. АН СССР. 1962. С. 239–243.

*Голубева И.И.* Структурно-вещественные свидетельства ликвации в риолитах Полярного Урала // Труды Института геологии КНЦ УрО РАН. Вып. 103. С. 71–77.

*Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000 листа Q-*

*41-XI.* Издание второе. Объяснительная записка. М.: МФ ВСЕГЕИ. 2013. С. 216.

*Короновский Н.В., Быков М.В., Сапарин Г.В., Слуев В.И.* Микроликвация в кислых вулканических породах // ДАН СССР. 1976. Т. 230. № 1. С. 190–193.

*Летников Ф.А.* Процессы самоорганизации при формировании магмаиогенных и гидротермальных рудных месторождений // Геология рудных месторождений. 1997. Т. 38. № 4. С. 307–322.

*Маракушев А.А., Иванов И.П., Римкевич В.С.* Значение ликвации в генезисе магматических горных пород // Вестник МГУ. Геология. 1979. № 1. С. 3–22.

*Мишин Л.Ф.* Субвулканические интрузии кислого состава. М.: Наука. 1994. 205 с.

*Пугин В.А., Хитаров Н.И.* Вариолиты как пример ликвации магм // Геохимия. 1980. № 4. С. 496–512.

*Самаркин Г.И., Самаркина Е.Я., Пумпянский А.М.* Геологические, петрографические и геохимические особенности ликвации в пермских риолитах Хуторской субвулканической интрузии Курганского Зауралья // Литосфера. 2004. № 4. С. 62–75.

*Шишкин М.А., Малых И.М., Матуков Д.И., Сергеев С.А.* Риолитовые комплексы западного склона Полярного Урала // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России: Материалы XIV Геологического съезда Республики Коми. Т. II. Сыктывкар: Геопринт. 2004. С. 148–150.

## Liquation Processes in Rhyolites of the Lyadgey Complex of the Enganepe Ridge (Polar Urals)

**T.A. Vovchina**

Institute of Geology named after N.P. Yushkin, Federal Research Centre Komi Science Centre, Ural Branch, RAS

54 Pervomayskaya Str., Syktyvkar 167000, Russia. E-mail: ta\_kaneva@mail.ru

In the extrusive-subvolcanic body of the acid composition of the Lyadgey Complex (λV<sub>2</sub>ld) of the southern part of the Enganepe Ridge, rhyolites with unusual textural and structural features are identified. Petrographic and mineralogical study of the thin-banded rhythmic structure and spherical forms in rhyolites revealed the genesis of these features. The presence of secondary changes in the form of sericite and chlorite, indicating a high content of fluids (water) in the rock, which lead to the delamination of the melt, and the natural differences in chemical compositions in rhyolites, allowed explaining this features by the processes of liquation.

Key words: *striped rhyolites; spheruloid rhyolites; Lyadgey Complex; liquation; Enganepe Ridge.*

## References

- Vovchina T.A. 2022. Stroenie, petrografiya i petrogeohimiya kislykh porod ekstruzivno-subvulkanicheskogo tela yuzhnoy chasti khrebta Enganepe (Polar Urals) [Structure, petrography and petrogeochemistry of acid rock of the extrusive-subvolcanic body of the southern part of the Enganepe Ridge (Polar Urals)]. Vestnik geonauk. 12(336):20–28. (in Russian) doi: 10.19110/geov.2022.12.3.
- Volovikova I.M., Eliseeva O.P. 1962. K voprosu ob obrazovanii sharovykh lav v kislykh effuzivakh Kuraminskogo khrebta (Srednyaya Aziya) [On the issue of restoration of spherical lavas in acidic effusives of the Kurama Range (Central Asia)]. In: Voprosy vulkanizma. Moskva, pp. 239–243. (in Russian)
- Golubeva I.I. Strukturno-veshchestvennye svдетельstva likvatsii v riolitah Polyarnogo Urala [Structural and material evidence of segregation in rhyolites of the Polar Urals]. In: Trudy Inst. geologii KNTs UrO RAN. 103:71–77. (in Russian)
- Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200 000 lista Q-41-XI. Izdanie vtoroe. Obyasnitelnaya zapiska [State geological map of the Russian Federation, Scale 1:200,000, sheet Q-41-XI. Second edition. Explanatory letter]. Moskva, VSEGEI. 2013, p. 216. (in Russian)
- Koronovskij N.V., Bykov M.V., Saparin G.V., Sluev V.I. 1976. Mikrolikvatsiya v kislykh vulkanicheskikh porodakh [Microliquetation in felsic volcanic rocks]. DAN SSSR. 230(1):190–193. (in Russian)
- Letnikov F.A. 1997. Protsessy samoorganizatsii pri formirovanii magmaiogennykh i gidrotermalnykh rudnykh mestorozhdeniy [Self-organization processes during the formation of magmatic and hydrothermal ore deposits]. Geologiya rudnykh mestorozhdeniy. 38(4):307–322. (in Russian)
- Marakushev A.A., Ivanov I.P., Rimkevich V.S. 1979. Znachenie likvatsii v genezise magmaticheskikh gornykh porod [The significance of liquation in the genesis of igneous rocks]. Vestnik MGU. Geologiya. 1:3–22. (in Russian)
- Mishin L.F. 1994. Subvulkanicheskie intruzii kislologo sostava [Subvolcanic felsic intrusions]. Moskva, p. 205. (in Russian)
- Pugin V.A., Khitarov N.I. 1980. Variolity kak primer likvatsii magm [Variolites as an example of magma liquation]. Geokhimiya. 4:496–512. (in Russian)
- Samarkin G.I., Samarkina E.Ya., Pumpyanskiy A.M. 2004. Geologicheskie, petrograficheskie i geokhimicheskie osobennosti likvatsii v permskikh riolitakh Khutorskoy subvulkanicheskoy intruzii Kurganskogo Zauralya [Geological, petrographical and geochemical peculiarity liquid splitting of Permian rhyolite of the Hootorskaya subvolcanic intrusion of the Kurgan Transurals]. Litosfera. 4:62–75. (in Russian)
- Shishkin M.A., Malykh I.M., Matukov D.I., Sergeev S.A. 2004. Riolitovye komplekсы zapadnogo sklona Polyarnogo Urala [Rhyolite complexes of the western slope of the Polar Urals]. In: Materialy XIV Geologicheskogo syezda Respubliki Komi. 2:148–150. (in Russian)