

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЕРЛИТОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ (ЯГОДНИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ, ЮЖНАЯ КАМЧАТКА)

CHANGE OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PERLITES UNDER THE ACTION OF HYDROTHERMAL PROCESSES (YAGODNINSKY DEPOSIT, SOUTH KAMCHATKA)

УДК 624.131.4

DOI 10.25296/1993-5056-2017-5-26-38



ФРОЛОВА Ю.В.

Доцент кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к.г.-м.н., г. Москва, ju_frolova@mail.ru

СПИРИДОНОВ Э.М.

Профессор кафедры минералогии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., г. Москва, ernstspiridon@gmail.com

ЛАДЫГИН В.М.

Старший научный сотрудник кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к.г.-м.н., г. Москва, skalka_1@mail.ru

РЫЧАГОВ С.Н.

Заведующий лабораторией геотермии Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, д.г.-м.н., г. Петропавловск-Камчатский, rychsn@kscnet.ru

БОЛЬШАКОВ И.Е.

Студент кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва, illenivez@gmail.com

Ключевые слова:

перлит; Ягоднинское месторождение; вторичные преобразования; физико-механические свойства.

Аннотация

В статье рассматриваются инженерно-геологические особенности перлитов Ягоднинского месторождения Камчатки. Приводится их петрографическое описание, рассматриваются физические и физико-механические свойства, особенности разрушения. Анализируется изменение свойств перлитов в зависимости от степени их гидротермальных преобразований.

Key words:

perlite; Yagodninsky deposit; secondary alterations; physical-mechanical properties.

Abstract

The engineering geological features of perlites of the Yagodninsky deposit of Kamchatka are considered in the article. Their petrographic description is given, physical and physical-mechanical properties, and features of failure are considered. The change in properties is analyzed depending on the degree of hydrothermal alterations of perlites.

FROLOVA J.V.

Associate Professor of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, ju_frolova@mail.ru

SPIRIDONOV E.M.

Professor of the Department of Mineralogy, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, ernstspiridon@gmail.com

LADYGIN V.M.

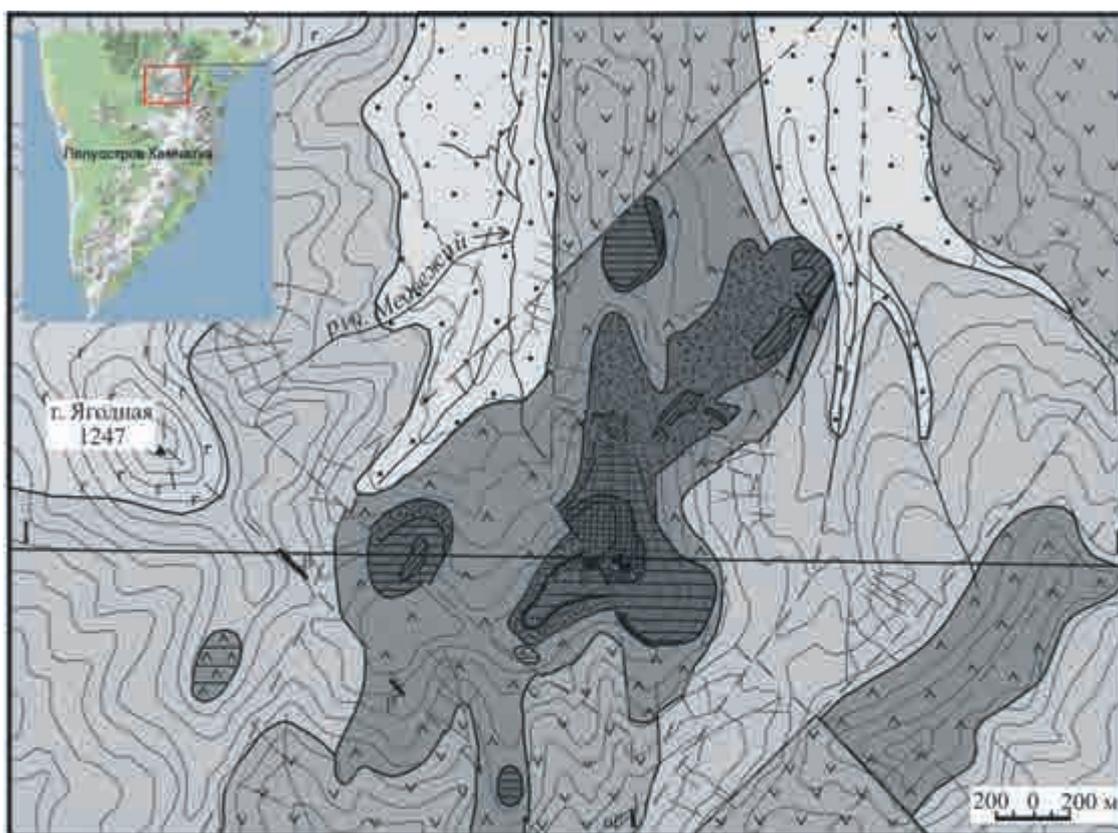
Senior Researcher of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, skalka_1@mail.ru

RYCHAGOV S.N.

Head of the Laboratory of Geothermy, Institute of Volcanology and Seismology FED RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), rychsn@kscnet.ru

BOLSHAKOV I.E.

Student of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, illenivez@gmail.com



Геологический разрез по линии I-I

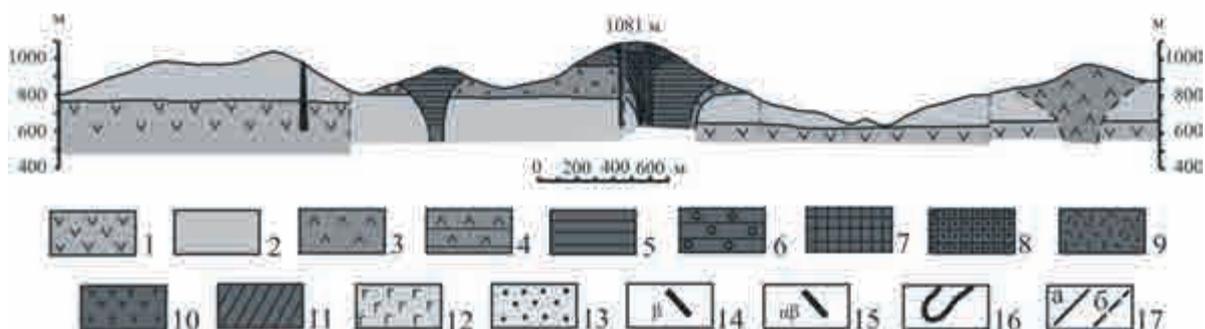


Рис. 1. Схематическая геологическая карта района Ягоднинского месторождения по [12], с изменениями [15]: 1 — андезиты, андезитовые туфы; 2 — риолиты; 3 — эффузивные дациты; 4 — экструзивные дациты; 5 — тонкополосчатые риолиты; 6 — сферолитовые риолиты; 7 — желтовато-коричневые перлиты; 8 — желтовато-коричневые сферолитовые перлиты; 9 — цеолитизированные перлиты; 10 — туфы, туффиты, туфобрекчии; 11 — темно-серые и зеленые перлиты; 12 — эффузивные базальты; 13 — аллювиальные отложения; 14 — дайки базальтов; 15 — дайки андезибазальтов; 16 — цеолитизированные перлитовые брекчии; 17 — тектонические нарушения: а — установленные, б — предполагаемые

Введение

Перлиты представляют собой кислое вулканическое стекло, причем в отличие от обсидианов стекло гидратировано и содержит, по разным данным, от 1 до 10% (чаще 2,5–6%) воды [10, 19]. Перлиты образуются в результате весьма сложных процессов, протекающих в вулканических телах. Считается, что гидратация вулканического стекла происходит либо при охлаждении вулканических тел и перераспределении содержащейся в них воды под влиянием перепада температуры и давления (первичная гидратация), либо через значительный после образования стекла промежуток времени под действием гидротермальных растворов и поверхностных вод (вторичная гидратация) [1, 11]. Вторичная гидратация происходит в широком температурном диапазоне — от экзогенных условий до

400–500 °С, разделяясь на низко- и высокотемпературную. Низкотемпературная гидратация проявляется в виде тонких двупреломляющих пленок вокруг обсидиановых ядер. Высокотемпературный тип вторичной гидратации характеризуется повышенным содержанием воды в стекле — 5–9%. Геологическим признаком гидратации этого типа является ассоциация стекла с вторичными минералами (цеолиты, смектиты), а также относительно равномерное содержание воды в толще перлитового потока [10].

Помимо вулканического стекла в перлитах часто присутствуют вкрапленники кварца, каликатрового полевого шпата, плагиоклаза, биотита, амфибола, а также своеобразные округлые полиминеральные образования — сферолиты. Поскольку гидратированное вулканическое стекло является термодинамически нестойким материалом и может легко менять свой

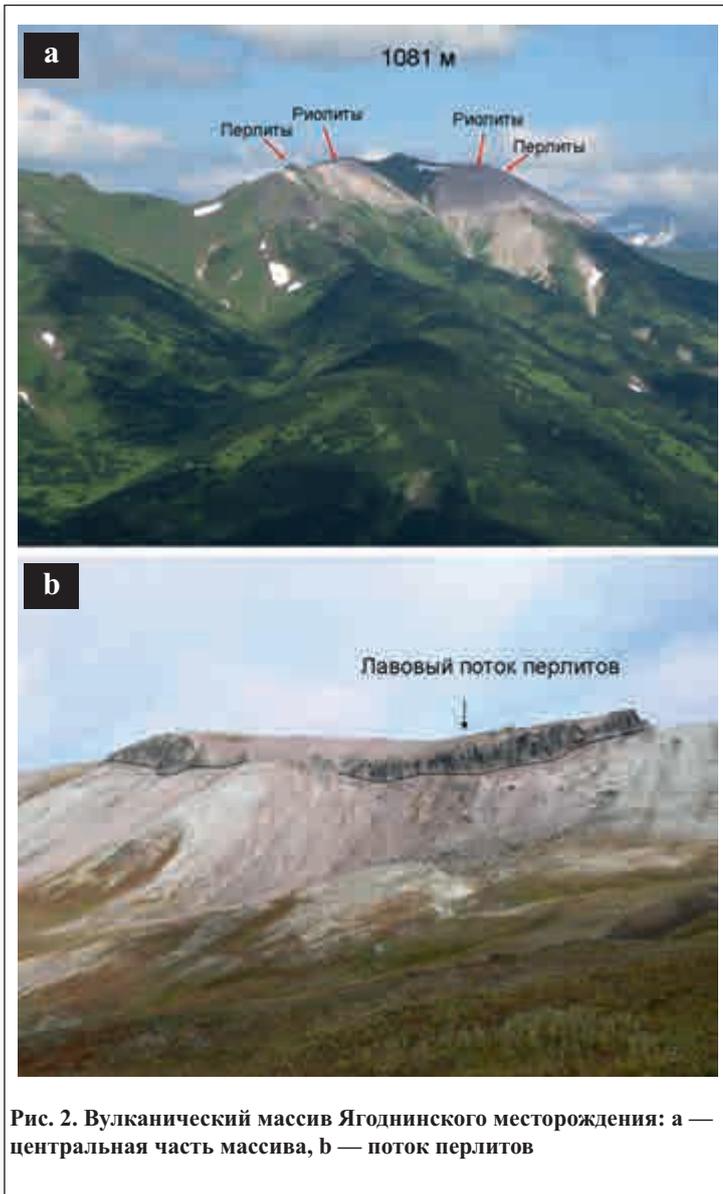


Рис. 2. Вулканический массив Ягоднинского месторождения: а — центральная часть массива, б — поток перлитов



Рис. 3. Перлит со сферолитами. Ягоднинское месторождение. Ширина поля зрения 15 см

состав при смене внешних условий (давления и температуры) и воздействии флюидов, то для перлитов характерны вторичные минералы, в первую очередь смектиты и цеолиты.

Еще одной особенностью перлитов являются концентрические трещины (перлитовая отдельность), образующиеся за счет напряжений, возникающих при остывании и затвердевании вулканического стекла, а также, вероятно, и при его гидратации. По этим трещинам перлит может распадаться на округлые ядра, шарики, похожие на жемчуг, откуда и происходит название перлит (перлы — от англ. Pearl — жемчужина). Обычно негидратированные или слабо гидратированные центральные части ядер окружены кольцами сильно гидратированного стекла [10].

Практическая значимость изучения перлитов обусловлена тем, что они являются важным неметаллическим полезным ископаемым. Перлиты применяются в цементной промышленности в качестве добавки в бетон, придавая изделиям легковесность, хорошие акустические, теплоизолирующие и огнеупорные свойства. Их используют как теплоизоляционный материал. В химической промышленности перлиты используются для изготовления фильтров и адсорбирующих материалов; в нефтяной промышленности — для промывки и цементации глубоких скважин, в качестве добавки в буровой раствор как адсорбент; в сельском хозяйстве — для улучшения структуры почвы и т.д. Таким образом, перлит является уникальным материалом, который применяется для производства огромного числа продуктов, используемых в различных отраслях промышленности [6, 14]. Месторождения вулканических стекол — перлитов и обсидианов — пространственно связаны с районами кислого вулканизма. Наиболее известные месторождения разведаны в США, Турции, Японии, Новой Зеландии, Иране, Мексике, Армении, Греции, Грузии, Италии, ЮАР, Венгрии, России и пр. [7, 13, 14, 19]. Поскольку перлит — это гидратированное вулканическое стекло, а оно легко разлагается под действием вторичных процессов, месторождения перлита наиболее широко распространены среди кислых вулканических пород палеоген-четвертичного возраста (Камчатка, Закавказье, Приморье, Карпаты и др.), реже встречаются в мезозойских вулканогенных толщах (Крым, Кавказ, Саяны, Забайкалье, Северо-Восток РФ). Среди вулканических пород палеозойского и более древнего возраста перлиты встречаются редко (Средняя Азия, Казахстан), поскольку вулканическое стекло с течением времени претерпевает вторичные изменения [9].

На территории Камчатского края перлиты достаточно широко распространены. В различных районах полуострова известно более 30 месторождений кислых стекол [18]. В настоящей работе рассматриваются перлиты Ягоднинского месторождения Южной Камчатки. Для разработки месторождения перлитов и связанных с ними цеолитов, а также для оптимизации технологического процесса по использованию природных перлитов в качестве сырья, необходимо оценить петрографический и химический состав породы, характер и интенсивность трещиноватости, физико-механические свойства, а также выявить структурно-минералогические факторы, влияющие на свойства и характер разрушения.

Геологические условия

Район исследований расположен в пределах южного сегмента Восточно-Камчатского вулканического пояса и представляет собой Банно-Карымшинский длительноживущий (с эоцена по голоцен) центр магматической, геотермальной и рудной активности [15]. В геологическом строении данной территории принимают участие вулканогенные формации, контрастные по составу пород (от риолитов до ба-

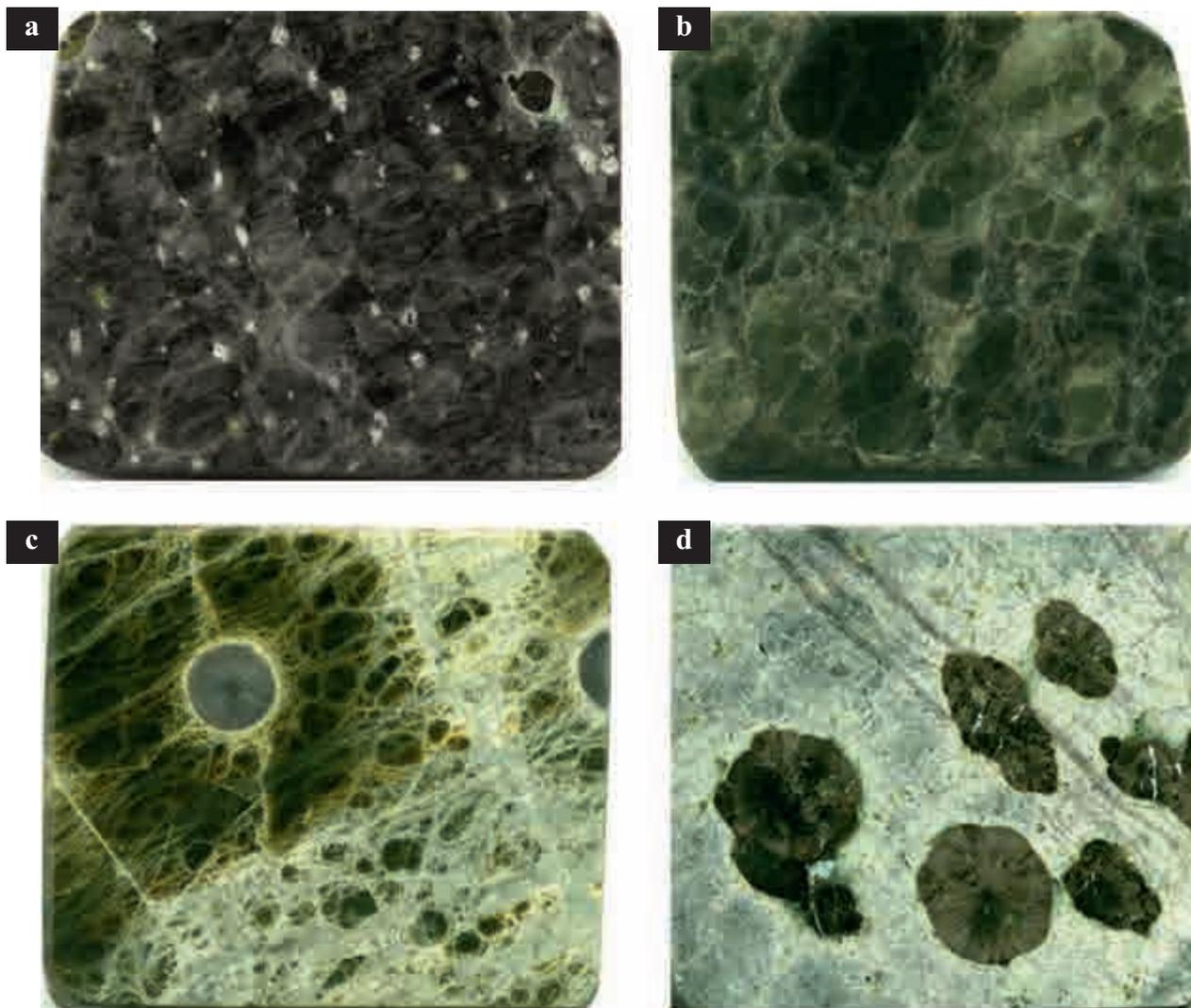


Рис. 4. Ряд перлитов по степени изменения: а — неизменный, б — слабоизмененный, с — среднеизмененный, д — сильноизмененный. Ширина поля зрения 4 см

зальтов), и экструзивно-субвулканические комплексы, с которыми связаны месторождения полезных ископаемых. К экструзивно-субвулканическому массиву высотой 1081 м приурочено Ягоднинское месторождение цеолитового сырья, перлитов и активных минеральных добавок (рис. 1).

В основании постройки залегают дациты, выше по разрезу — цеолитизированные туфы риолитового состава, от пелитовых до псефитовых разностей. Туфы перекрываются лавами риолитов. Центральная часть вулканического массива имеет сложное строение, характерное для кратерной области дифференцированных экструзивно-субвулканических комплексов: здесь выделяется серия рвущих тел, сложенных сферолитовыми риолитами и перлитами (рис. 2, а). Перлиты образуют также мощные (≥ 10 м) и протяженные (≥ 300 м) потоки (рис. 2, б). Жерловая фация представлена агломератовыми лавами, туфами и туффитами, прорванными базальтовыми дайками (штоками).

Фактический материал и методы исследования

Образцы перлитов были отобраны в ходе комплексной научной экспедиции 2015 г., проводимой сотрудниками лаборатории геотермии Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН совместно с сотрудниками кафедры инженерной и экологической геологии геологического

факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Всего исследовано 17 образцов. Из каждого образца были изготовлены пробы цилиндрической формы ($D = 3$ см, $H:D = 1:2$; всего 84 пробы). В ходе лабораторных испытаний определялись следующие свойства пород: плотность воздушно-сухого грунта (ρ_d); плотность твердых частиц (ρ_s); общая пористость (n); величина водопоглощения (W); гигроскопическая влажность (W_p); магнитная восприимчивость (χ); скорость распространения продольных волн (V_p) в сухом и водонасыщенном состоянии; K_{vp} — коэффициент, показывающий насколько изменяется величина V_p при водонасыщении; скорость распространения поперечных волн (V_s); динамический модуль упругости (E_d); прочность на одноосное сжатие в сухом (R_c) и водонасыщенном состоянии ($R_{св}$); коэффициент размягчаемости ($K_{раз}$); прочность на разрыв (R_p); сцепление (C); угол внутреннего трения (φ). Все определения проводились на кафедре инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова по стандартным методикам [2–4, 8, 16]. Петрографическое описание пород сделано с помощью оптического микроскопа OLYMPUS—BX-41 со встроенной цифровой фотокамерой OLYMPUS SP-500UZ. Для уточнения минерального состава проведена рентгеновская дифрактометрия (рентгеновский дифрактометр Ri-

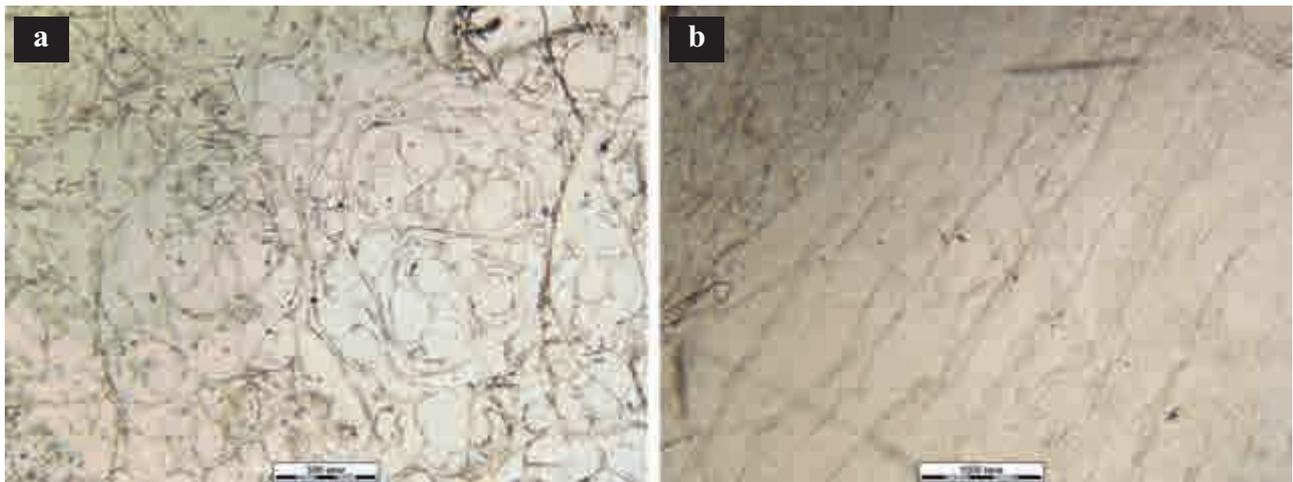


Рис. 5. Неизменные перлиты (фотографии шлифа, николь 1): а — перлитовые отдельности, б — участок вулканического стекла без перлитовой отдельности (обсидиан)

Таблица 1

Химический состав вулканического стекла по данным микрозондового анализа (% по массе)

Элементы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	Cl	Сумма
Центральная часть перлитовой отдельности	75,91	0,11	12,57	0,44	0,06	0,45	4,05	4,84	0,12	0,07	98,62
Гидратированный краевой участок	67,69	0,10	12,35	0,41	0,62	2,05	1,72	3,73	0,11	0,05	88,83

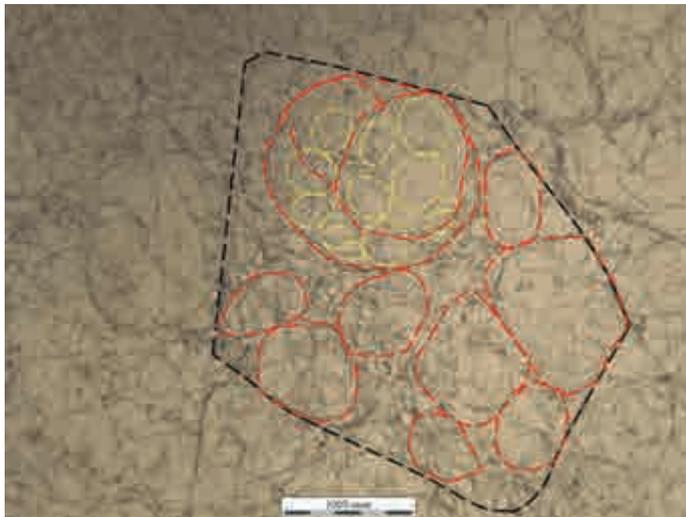


Рис. 6. Перлитовые отдельности (фотография шлифа, николь 1). Условные обозначения: желтый пунктир — мелкие перлитовые отдельности, красный пунктир — крупные перлитовые отдельности, черный пунктир — прямолинейные трещины, секущие породы на блоки

Петрографическая характеристика перлитов

Визуально исследованные перлиты различаются по степени вторичного преобразования: от неизменных черных и темно-серых плотных разностей с характерным стекляннным блеском до сильноизмененных «сахаровидных» пород светлых буровато-зеленых, серовато-зеленых оттенков, встречающихся в верхних частях потоков или вблизи тектонических нарушений. Средний химический состав исследованных перлитов (%): SiO₂ 70,0–74,9; TiO₂ 0,17–0,2; Al₂O₃ 10,7–11,9; Fe₂O₃ 0,8–1,1; FeO 0,1–0,6; CaO 1,0–1,4; MgO 0,1–0,2; Na₂O 2,8–3,6; K₂O 4,4–4,7; H₂O 0,8–9,0.

В образцах с нижней части перлитовых потоков присутствуют включения сферолитов темно-коричневого цвета, размером от первых мм до первых см (рис. 3). Количественное содержание сферолитов изменяется от первых % в верхней части перлитового горизонта до 30–40% в основании.

В зависимости от степени изменения среди исследованных перлитов выделены четыре группы — неизменные, слабо-, средне- и сильно измененные (рис. 4). Ниже приводится их описание.

1. *Неизменные перлиты* имеют темную окраску, обладают стекляннным блеском и раковистым изломом (рис. 4, а). Порода на 80–90% сложена оптически-изотропным однородным вулканическим стеклом и соответственно имеет стекловатую (витрофиловую) структуру. Встречаются редкие вкрапленники (не более 5–10%) размером до 1–2 мм, представленные К-Na полевым шпатом (санидин), плагиоклазом (олигоклаз), биотитом; присутствуют единичные зерна ильменита.

Для породы характерна перлитовая отдельность, образованная концентрическими трещинами (рис. 5, а). Выделяются мелкие перлитовые отдельности (0,1–0,3 мм), образованные трещинами шириной 1–2 микрон

gaku ULTIMA-IV). Химический состав отдельных компонентов перлитов диагностирован с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) LEO 1450VP, оснащенного микрозондовым анализатором INCA 300 и РЭМ с микрозондовым анализатором Jeol JSM-6430. Химический анализ исследуемых пород (рентгенофлуоресцентная спектрометрия) был проведен в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН (спектрометр рентгенофлуоресцентный «S4 PIONEER»).

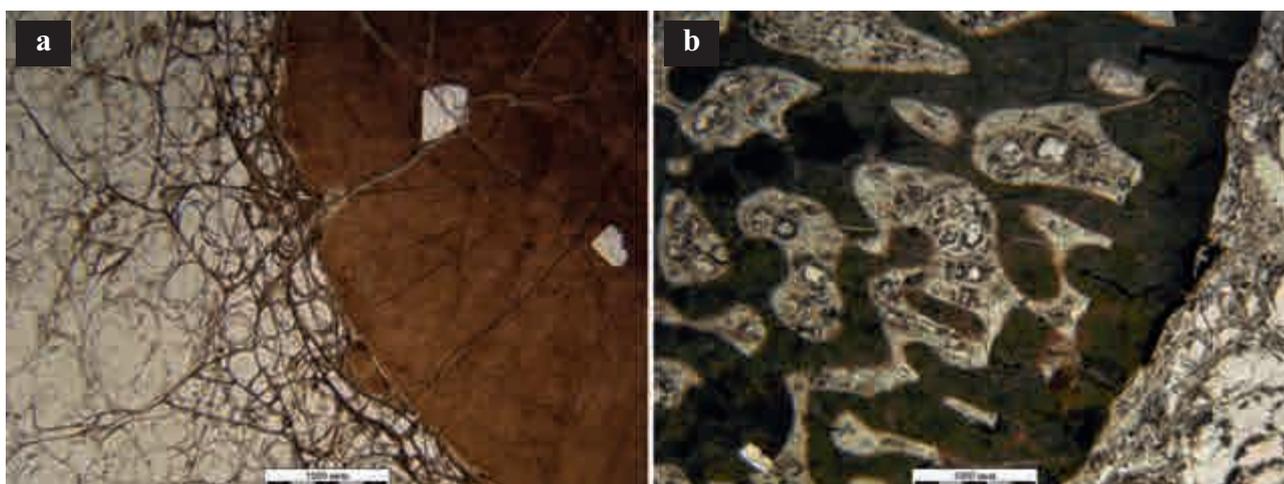


Рис. 7. Сферолиты в перлите (фотографии шлифов, николь 1): а — плотный, б — «ажурный»

и крупные (1–1,5 мм), образованные трещинами шириной 5–10 микрон, причем во втором случае часто наблюдаются несколько параллельных трещин (рис. 6). Помимо концентрических трещин есть трещины прямолинейные (шириной 10–20 микрон), пересекающие породу на изометричные блоки размером 3–5 мм, иногда более. Все трещины открытые, вторичные минералы в них отсутствуют. В петрологии образование перлитовой отдельности связывают с напряжениями, возникающими при гидратации вулканического стекла, сопровождающейся увеличением его объема [9], однако, как известно из геомеханики, сфероидальная сеть трещин образуется при уменьшении объема вещества в условиях равнокомпонентного сжатия [17]. Вследствие противоречия двух гипотез, вопрос о механизмах и причинах формирования трещин в перлитах остается открытым и требует дальнейшего исследования. Следует отметить, что встречаются отдельные участки обсидиана, для которых не характерна перлитовая отдельность (рис. 5, б). В работах В.В. Наседкина (1963) отмечается, что для молодых вулканических стекол характерна неоднородность в содержании воды и присутствие так называемых перлит-обсидиановых пар [9].

Центральные части перлитовых «ядер» и участки без перлитовой отдельности отличаются меньшей степенью гидратации по сравнению с краевыми участками (табл. 1). Кроме того, гидратация сопровождается изменением количественного содержания основных компонентов — выносом кремния, натрия, в меньшей степени калия и привносом магния и кальция.

Среди данной группы выделяются перлиты без сферолитов и сферолитсодержащие разновидности. Сферолиты представляют собой округлые образования красновато-коричневого цвета, размером от первых мм до 2–3 см (рис. 7). Как правило, сферолит сложен волокнистыми, сноповидными, игольчатыми, столбчатыми или пластинчатыми образованиями, расположенными по радиусам вокруг общего центра. В пределах сферолита выделяются участки с различной ориентировкой «волокон». Выделяются плотные сферолиты (рис. 7, а) и «ажурные», с включениями перлита (рис. 7, б).

По данным микрозондового анализа сферолиты сложены агрегатами калиевого или калинатрового полевого шпата и микрокристаллического кварца с включениями ильмено-гематита (рис. 8).

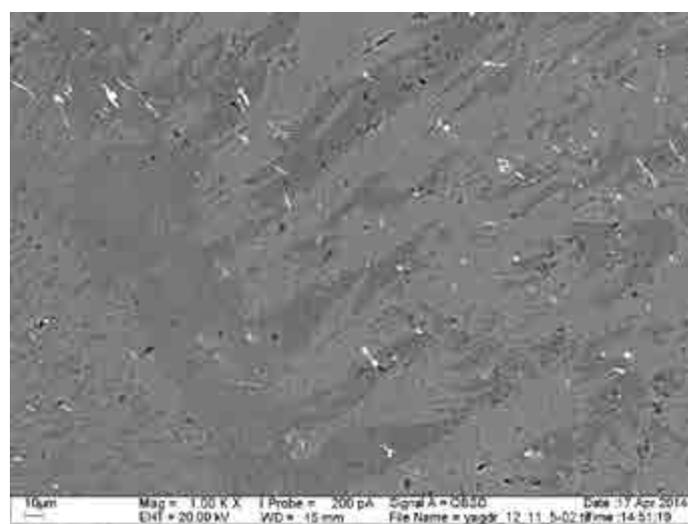


Рис. 8. РЭМ-изображение сферолита. Темно-серый — кварц (или кристобалит), светло-серый — К-Na полевого шпата, белый — рудные вросстки (ильмено-гематит)

В научной литературе существуют различные точки зрения на формирование сферолитов. Одни исследователи относят сферолиты к магматическим образованиям, другие рассматривают их как результат постмагматических процессов. Проведенные авторами исследования сферолитов Ягоднинского месторождения позволяют считать их постмагматическими образованиями, сформировавшимися в результате раскристаллизации кислого, калийсодержащего гидратированного вулканического стекла. Поскольку вулканическое стекло является однородным, практически изотропным материалом, то новообразования имеют сфероидальную форму. На постмагматическую природу сферолитов указывают следующие признаки. Во-первых, в перлитах наблюдается четко выраженная концентрическая отдельность, которая образуется за счет напряжений, возникающих при остывании и затвердевании вулканического стекла. В шлифах хорошо видно, что сферолиты в ряде случаев «срезают» перлитовые структуры, что свидетельствует о более позднем их формировании (см. рис. 7, а). Во-вторых, сферолиты нередко содержат включения перлита (аналогичного внешнему перлиту) (см. рис. 7, б). В-третьих, сферолиты расположены на наиболее гидратированных участках

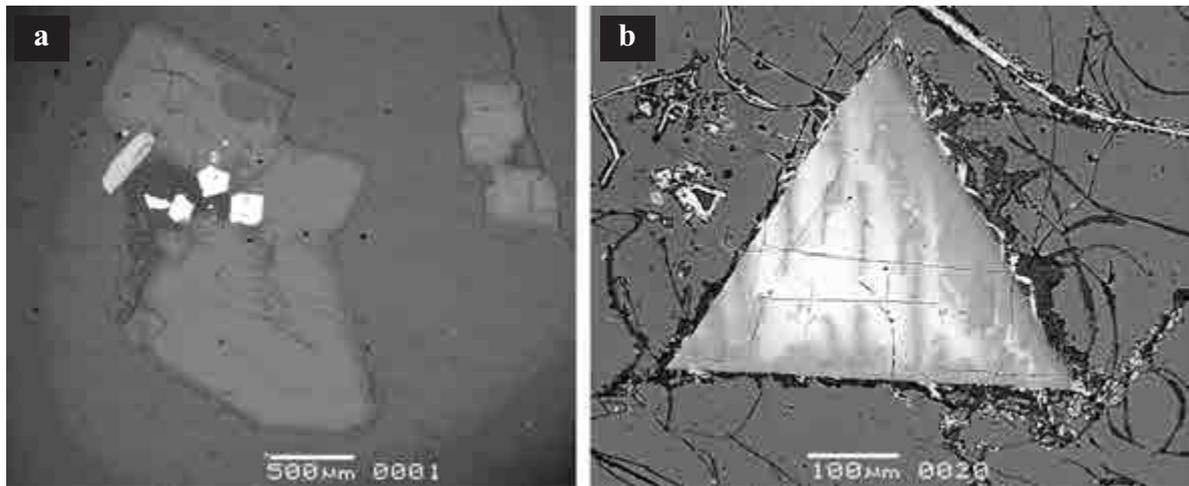


Рис. 9. Замещение вкрапленников К-Na полевого шпата (санидина) альбитом: а — в санидине — включения небольших кристаллов олигоклаза (темно-серые) и ильменита (белые). Слева вверху пластинчатый вкрапленник биотита (светлый). Вулканическое стекло частично превращено в перлит, санидин замещен альбитом (серый); б — вкрапленник санидина в значительной степени замещен альбитом (серый) по сети трещин спайности. Вулканическое стекло превращено в перлит (в отраженных электронах)

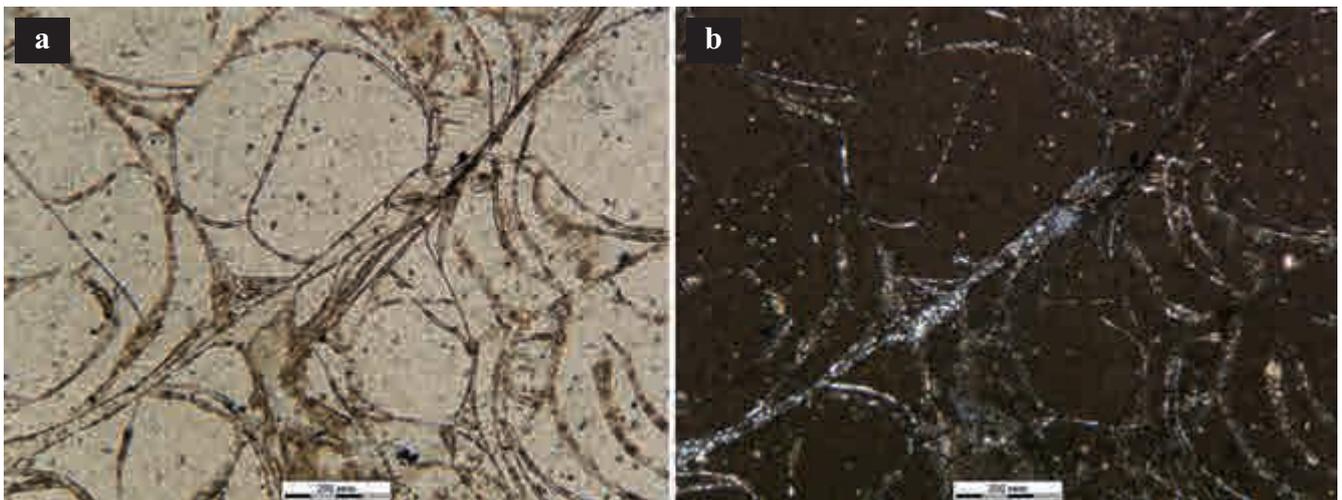


Рис. 10. Слабоизмененные перлиты. Цеолиты и смектиты развиваются по трещинам. Фотографии шлифов при одном (а) и при скрещенных (б) николях

вулканического стекла (см. рис. 3 и 4, *b, c*). Можно полагать, что образование сферолитового вещества происходит по наиболее гидратированным участкам вулканического стекла, тогда как слабо гидратированное стекло не перерабатывается.

Вероятным источником калия для образования перлитов (помимо вулканического стекла) являются вкрапленники санидина, которые испытывают альбитизацию, в результате которой высвобождается калий (рис. 9).

2. *Слабоизмененные перлиты* отличаются чуть более светлой окраской с преобладанием зеленоватых, сероватых и коричневатых оттенков (см. рис. 4, *b*). Характерный для неизмененных перлитов стеклянный блеск уменьшается, появляются матовые участки. Принципиальное отличие от первой группы заключается в том, что в перлитах второй группы начался процесс образования вторичных минералов. Первые преобразования связаны с заполнением трещин вторичными минералами, среди которых преобладают цеолиты, в меньшей степени раз-

виты смектиты. Цеолиты представлены высококремнистыми разновидностями — клиноптиллолитом, гейландитом и морденитом. Кроме того, вторичные изменения затрагивают околотрещинное пространство и участки на пересечении трещин, где вулканическое стекло частично переработано (рис. 10). Немногочисленные вкрапленники каликатрового полевого шпата, плагиоклаза и биотита не изменены.

3. *Среднеизмененные перлиты*. При дальнейшем увеличении степени переработки перлиты утрачивают стеклянный блеск, становятся матовыми, приобретают более светлую окраску (см. рис. 4, *b*). По трещинам и в порах наблюдается вторичная минерализация, более интенсивная, чем во второй группе. Кроме того, в отличие от предыдущей группы цеолитами и смектитами замещены целые участки вулканического стекла (рис. 11). Наиболее интенсивное замещение происходит в зонах повышенной трещиноватости стекла, в первую очередь на участках пересечения трещин.

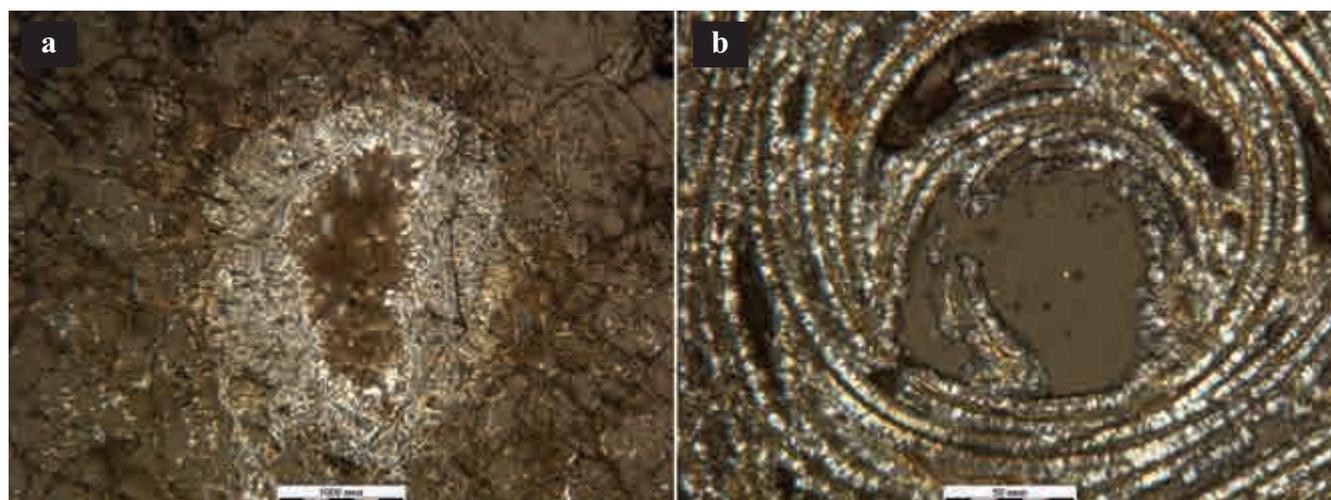


Рис. 11. Среднеизмененные перлиты. Фотографии шлифов при скрещенных николях: а — цеолиты заполняют поры и замещают вулканическое стекло, б — цеолиты развиваются по концентрическим трещинам

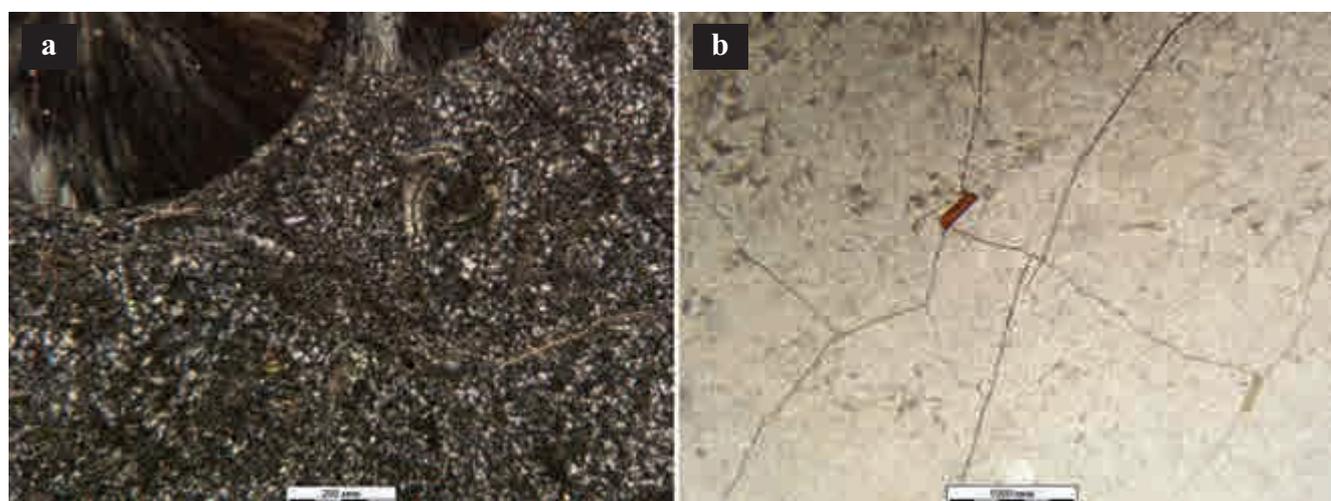


Рис. 12. Сильноизмененные перлиты. Фотографии шлифов: а — цеолитизированное вулканическое стекло (никколи скрещены), б — микротрещины (николь 1)

По размеру и форме кристаллов наблюдаются три генерации цеолитов (рис. 11, а). Пустотное пространство заполнено наиболее крупными (0,2–0,3 мм) радиально-лучистыми кристаллами; на стенках пор оторочка из призматических кристаллов размером 0,05 мм. По вулканическому стеклу и в концентрических трещинах перлитовой отдельности цеолитизация развивается в виде микроразделов размером менее 10 микрон (рис. 11, б).

4. *Сильноизмененные перлиты* представляют собой тонкозернистые «сахаровидные» породы, преимущественно светло-зеленого цвета (см. рис. 4, d). Породы достаточно хрупкие, так как разбиты микротрещинами; некоторые образцы разваливались в руках без приложения нагрузки.

В отличие от предыдущих групп вулканическое стекло практически полностью перекристаллизовано и замещено микроразделами цеолитовым агрегатом (рис. 12, а). Цеолиты представлены тремя минералами: клиноптилолитом, морденитом и гейландитом. Следует отметить, что вторичным изменениям подверглось практически все вулканическое стекло, тогда как вкрапленники плагиоклаза, калиевого полевого шпата и биотита остались нетронутыми.

Несмотря на полное замещение вулканического стекла, перлитовые отдельности все же просматриваются (см. рис. 12, а). В некоторых образцах наблюдаются прямолинейные микротрещины, секущие породу на отдельные блоки (рис. 12, б).

Влияние степени изменения перлитов на физико-механические свойства

Свойства перлитов представлены в табл. 2. Неизмененные перлиты представляют собой достаточно плотные породы ($\rho_d = 2,20\text{--}2,28 \text{ г/см}^3$), с низкой пористостью $n = 5,3\text{--}7,4\%$, в основном обусловленной микротрещиноватостью. Величина открытой пористости ($n_o = 0,6\text{--}1,4\%$) на порядок меньше, чем общая пористость. Доля открытых пор в среднем составляет лишь 10% от общего объема пор, то есть поры (или микротрещины) преимущественно изолированные. Гигроскопическая влажность составляет 0,1%. Скорости упругих волн, несмотря на наличие микротрещин, характеризуются высокими значениями ($V_p = 4,0\text{--}4,9 \text{ км/с}$; $V_s = 2,1\text{--}2,6 \text{ км/с}$). При водонасыщении образцов значения V_p возрастают на 15–35%. Модуль упругости варьирует в интервале 25,6–39,5 ГПа,

Физические и физико-механические свойства перлитов Ягоднинского месторождения

Степень изменения перлитов	Кол-во образцов/проб	ρ_d , г/см ³	W_r , %	n , %	n_p , %	$\chi \times 10^{-3}$ СИ	V_p , км/с	V_s , км/с	E_d , ГПа	μ , д.ед.	R_c , МПа	R_p , МПа	C , МПа	Φ , град
Неизмененные	4/19	$\frac{2,20-2,28}{2,24}$	0,1	$\frac{5,3-7,4}{6,5}$	$\frac{0,4-1,4}{0,8}$	$\frac{0,68-1,87}{1,19}$	$\frac{4,03-4,92}{4,43}$	$\frac{2,08-2,60}{2,32}$	$\frac{25,6-39,5}{31,9}$	$\frac{0,28-0,33}{0,31}$	$\frac{25-53}{39}$	$\frac{5,4-11,5}{7,1}$	8	44
Слабоизмененные	7/38	$\frac{2,19-2,32}{2,26}$	$\frac{0,6-1,1}{0,9}$	$\frac{3,1-12,8}{6,5}$	$\frac{0,2-2,8}{1,3}$	$\frac{0,49-1,12}{0,80}$	$\frac{3,18-5,57}{4,39}$	$\frac{1,86-2,76}{2,34}$	$\frac{19,7-47,2}{32,9}$	$\frac{0,24-0,35}{0,29}$	$\frac{26-172}{72}$	$\frac{4,5-10,9}{7,0}$	11	55
Среднеизмененные	3/11	$\frac{2,19-2,20}{2,19}$	$\frac{1,5-3,7}{2,4}$	$\frac{7,0-8,8}{7,9}$	$\frac{1,0-2,3}{1,4}$	$\frac{0,32-0,53}{0,45}$	$\frac{3,41-3,68}{3,53}$	$\frac{1,78-2,12}{1,92}$	$\frac{16,6-24,7}{21,2}$	$\frac{0,25-0,32}{0,28}$	$\frac{46-53}{49}$	$\frac{3,9-4,6}{4,4}$	7	57
Сильноизмененные	3/16	$\frac{1,74-1,99}{1,90}$	4,6	$\frac{17,3-27,5}{20,8}$	$\frac{7,6-16}{11,7}$	$\frac{0,11-0,17}{0,13}$	$\frac{3,11-3,80}{3,39}$	$\frac{1,65-2,05}{1,83}$	$\frac{14,3-21,7}{16,8}$	$\frac{0,25-0,32}{0,29}$	$\frac{35-79}{50}$	$\frac{7,1-10,5}{8,8}$	10	44

Над чертой — минимальное и максимальное значения показателя, под чертой — среднее значение.

коэффициент Пуассона составляет 0,28–0,33. Значения прочности на одноосное сжатие, несмотря на близкие значения плотности и пористости пород, изменяются в два раза — от 26 до 53 МПа. Это обусловлено наличием микротрещин, неравномерное распределение которых в объеме образца влияет на его прочностные характеристики. Под нагрузкой образцы перлитов разрушаются по имеющейся сети трещин на остроугольные обломки в виде мелкого щебня и дресвы. Водонасыщение образцов не оказывает существенного влияния на их прочность. По классификации ГОСТ 25100-2011 [5] перлиты относятся к скальным грунтам — плотным, слабо пористым, неразмягчаемым, средней прочности.

Сравнение свойств перлитов и обсидианов, известных по литературным данным [10], показало, что вторые, как правило, менее трещиноваты и обладают более высокими значениями плотностных и упругих ($V_p = 5,6-5,9$ км/с) свойств и большей механической прочностью.

На первой стадии преобразований перлитов, заключающейся в частичном залечивании микротрещин цеолитами и изменении вулканического стекла в околотрещинном пространстве, сильно увеличивается разброс в значениях большинства свойств (рис. 13). Так, пористость слабоизмененных перлитов варьирует от 3,1 до 12,8%, в зависимости от интенсивности трещиноватости, а также соотношения открытых и залеченных трещин (рис. 13, б). Следует отметить, что по сравнению с неизмененными перлитами доля открытых пор возрастает до 20%, то есть процесс выщелачивания вулканического стекла преобладает над осаждением вторичных минералов. Гигроскопическая влажность перлитов немного увеличивается — до 0,6–1,1% за счет появления смектитов. Деформационные и прочностные свойства также варьируют в широких пределах. Модуль упругости изменяется от 19,7 до 47,2 ГПа (рис. 13, с), а прочность на одноосное сжатие — от 26 до 172 МПа, причем прочность в среднем выше, чем у неизмененных перлитов, что связано с залечиванием трещин.

Дальнейшие преобразования, при которых начинается существенная перекристаллизация вулканического стекла, приводят к повышению пористости и снижению плот-

ностных, упругих и прочностных свойств. При этом отмечается уменьшение разброса значений показателей свойств, характерного для начального этапа преобразований (см. рис. 13). По мере увеличения степени переработки меняется структура порового пространства: с одной стороны, практически исчезают концентрические трещины, характерные для неизмененных перлитов, с другой стороны, образуются межкристаллические микропоры. При этом доля открытых пор увеличивается от 10% в неизмененных перлитах до 50–60% в сильноизмененных. Изменение структуры порового пространства сказывается на характере разрушения породы при одноосном сжатии: в отличие от неизмененных и слабоизмененных перлитов для сильноизмененных пород характерно «классическое» разрушение по диагональной плоскости или с образованием конусов.

Следует отметить, что упругие свойства (V_p , V_s , E_d) зависят от плотности и пористости пород (рис. 14, а). При этом на диаграммах достаточно четко обособляются группы перлитов, выделенные по степени изменения (рис. 14, б). Между тем аналогичной зависимости прочности на одноосное сжатие от плотности (пористости) не наблюдается, т.е. прочностные свойства определяются в большей степени трещиноватостью - ее интенсивностью, распределением микротрещин в объеме образца, а также их заполнителем. В процессе изменения перлитов наблюдается устойчивая тенденция увеличения гигроскопической влажности W_r 0,1 → 0,9 → 2,4 → 4,6% за счет появления значительного количества смектитов, способных адсорбировать воду. Отдельно следует отметить закономерное снижение магнитной восприимчивости χ с увеличением степени изменения перлитов: 1,19 → 0,8 → 0,45 → 0,13 ($\times 10^{-3}$ СИ) (рис. 13, д, см. табл. 1).

Заключение

1. Перлиты Ягоднинского месторождения на 80–90% сложены кислым вулканическим стеклом, частично гидратированным, в котором встречаются редкие вкрапленники К-Na полевого шпата (санидин), плагиоклаза (олигоклаз) и биотита. В некоторых перлитах содержатся сферолиты, представляющие собой полиминеральные агре-

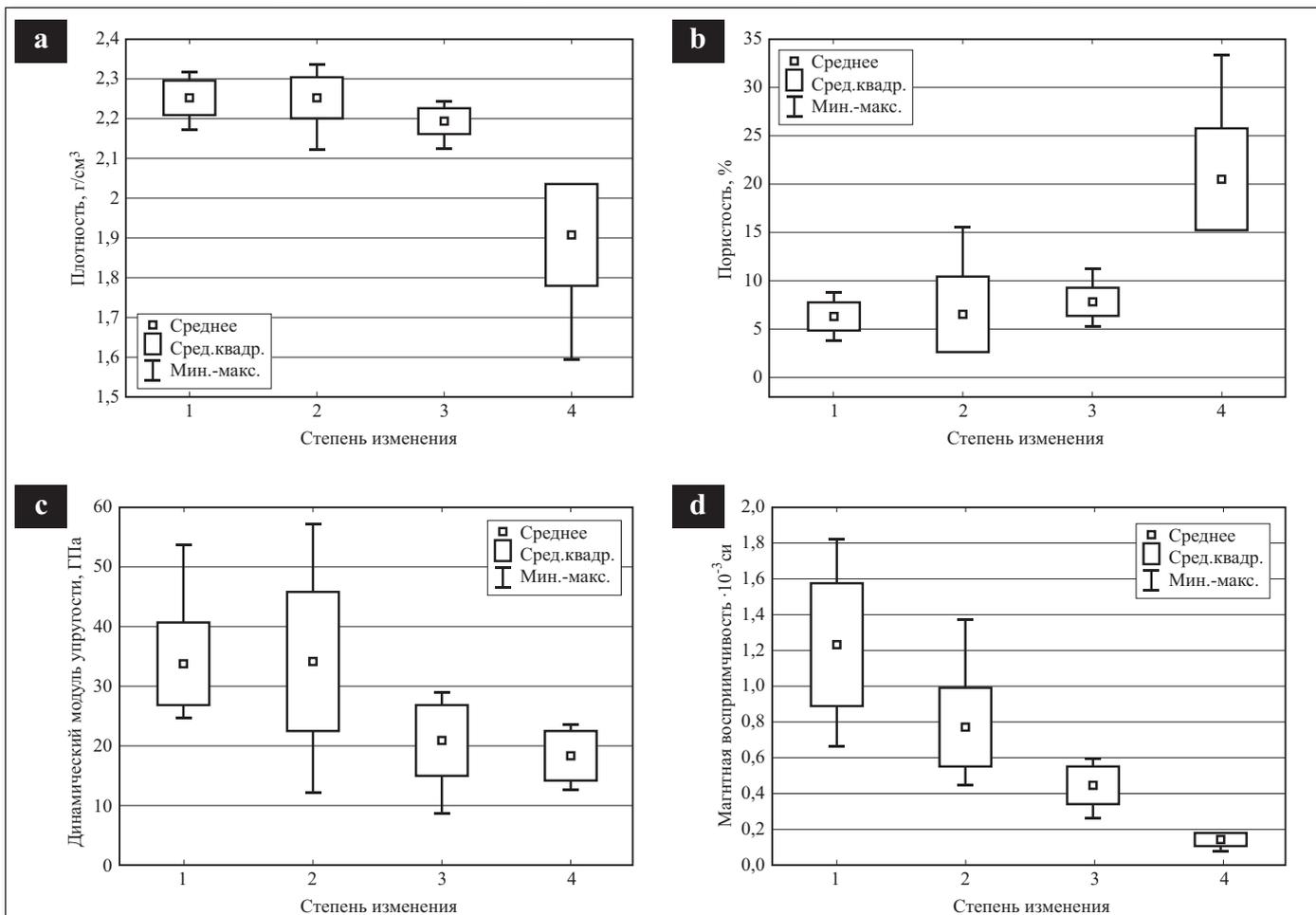


Рис. 13. Изменение свойств перлитов в зависимости от степени вторичных преобразований: а — плотность, б — пористость, с — модуль упругости, д — магнитная восприимчивость; 1 — неизменные, 2 — слабоизмененные, 3 — среднеизмененные, 4 — сильноизмененные

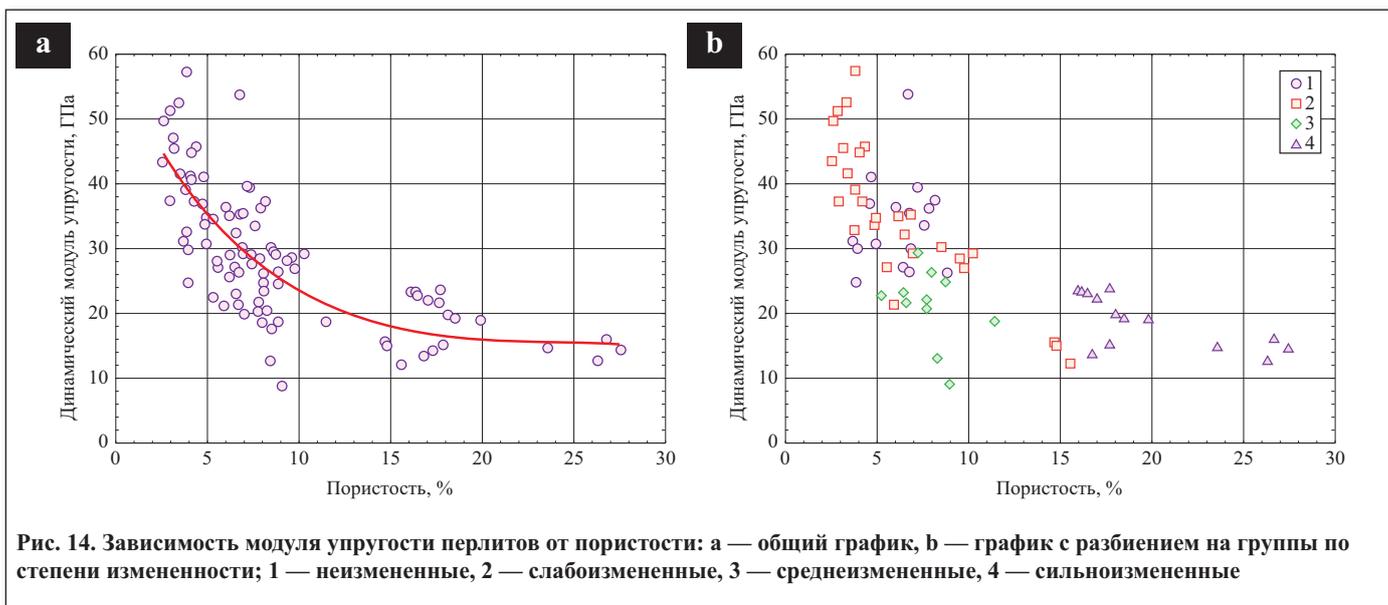


Рис. 14. Зависимость модуля упругости перлитов от пористости: а — общий график, б — график с разбиением на группы по степени измененности; 1 — неизменные, 2 — слабоизмененные, 3 — среднеизмененные, 4 — сильноизмененные

гаты, сложенные К-Na полевым шпатом и кварцем. Характерной особенностью перлитов являются концентрические отдельности, образование которых, вероятно, связано с гидратацией вулканического стекла, что отличает их от обсидианов.

2. Исследуемые перлиты в различной степени преобразованы в результате гидротермальных процессов. Вторичные замещения происходили в несколько этапов, начиная

с мелких трещин и заканчивая всем объемом вулканического стекла. Основными вторичными минералами являются высококремнистые цеолиты — клиноптиллолит, гейландит и морденит, смектиты. Следует отметить, что вторичным изменениям подверглось лишь вулканическое стекло, тогда как вкрапленники плагиоклаза, полевого шпата и биотита остались неизменными. Состав вторичных минералов и характер замещения указывает на то,

что среда термальных растворов была щелочной, а температура, по-видимому, не превышала 150 °С. По степени изменения выделены четыре группы перлитов — неизменные, слабо-, средне- и сильноизмененные.

3. Неизменные перлиты отличаются достаточно высокими значениями плотности и упругих свойств, и низкой пористостью, причем пустоты преимущественно изолированные и представлены микротрещинами. Прочность на одноосное сжатие, несмотря на близкую плотность пород, варьирует в широком диапазоне и зависит от микротрещиноватости.

4. Гидротермальные преобразования перлитов заметно изменяют их свойства. В общем случае, наблюдается тенденция к снижению плотности, магнитной восприимчивости (на порядок), упругих свойств (E_d в два раза), повышению пористости (как общей, так и открытой), величины водопоглощения и гигроскопической влажности. На прочностные свойства перлитов гидротермальная переработка

оказывает неоднозначное влияние. На первом этапе, за счет заполнения множества трещин цеолитами, прочность повышается, однако дальнейшие преобразования, затрагивающие вулканическое стекло, приводят к снижению прочности. Следует также отметить, что степень переработки влияет на характер разрушения породы. 🌐

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 16–05–00501а и № 16–05–00007). Авторы выражают благодарность старшему научному сотруднику В.В. Крупской, С.В. Закусину, С.А. Гариной за выполнение минерального анализа исследуемых пород методом рентгеновской дифракции, а также профессору В.Н. Соколову, старшему научному сотруднику М.С. Чернову, Н.Н. Коротяевой за исследования на растровом электронном микроскопе. Исследования проведены с использованием оборудования, полученного в рамках реализации Программы развития МГУ имени М.В. Ломоносова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисовский С.Е. Особенности сферолитовой кристаллизации в кислых вулканических стеклах по данным электронно-зондового микроанализа: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 1989.
2. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Изд-во стандартов, 1984.
3. ГОСТ 21153.3-85. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении. М.: Изд-во стандартов, 1985.
4. ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. М.: Изд-во стандартов, 1984.
5. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2013.
6. Исакович Г.А., Сергеева К.А. Рациональные области применения перлитового сырья в промышленности и его экономическая эффективность. В кн.: Перлиты. М.: Наука, 1981. С. 254–260.
7. Каменецкий С.П. Перлиты. Свойства, технологии, применение. М.: Госстройиздат, 1963. 280 с.
8. Лабораторные работы по грунтоведению / под ред. В.Т. Трофимова и В.А. Королева М.: Высш. шк., 2008. 519 с.
9. Наседкин В.В. Водосодержащие вулканические стекла кислого состава, их генезис и изменение. М.: АН СССР, 1963. 210 с.
10. Наседкин В.В. Петрогенезис кислых вулканитов. М.: Наука, 1975. 197 с.
11. Наседкин В.В. Основные закономерности формирования месторождений водосодержащих стекол и пути их промышленного использования. В кн.: Перлиты. М.: Наука, 1981. С. 17–42.
12. Наседкин В.В. Кислый вулканизм и водосодержащие вулканические стекла Северо-Востока СССР. М.: Наука, 1983. 103 с.
13. Петров В.П. Перлит, его особенности и распространение в СССР. В кн. Перлит и вермикулит. М.: Госгеолтехиздат, 1962. С. 9–21.
14. Петров В.П. Современное состояние и перспективы развития перлитовой промышленности. В кн.: Перлиты. М.: Наука, 1981. С. 5–16.
15. Рычагов С.Н., Бойкова И.А., Сандимирова Е.И. Ягоднинско-Банная гидротермально-магматическая система (Камчатка): контроль цеолитового, рудного и геотермального месторождений / Материалы XII петрографического совещания «Петрография магматических и метаморфических горных пород». Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С. 534–539.
16. Фролова Ю.В. Скальные грунты и методы их лабораторного изучения. М.: КДУ, 2015. 222 с.
17. Чернышов С.Н. Трещины горных пород. М.: Наука, 1983. 240 с.
18. Шевчук В.Д. Генетические типы месторождений кислых вулканических стекол на Камчатке. В кн.: Перлиты. М.: Наука, 1981. С. 43–51.
19. Lawless J., White P. Origin of water in New Zealand perlites // Proceedings World Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia, 19–25 April 2015. URL: <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2015/12005.pdf>.

Summary

Perlites are acidic volcanic glass, and unlike the obsidians, glass is hydrated and contains from 1 to 10% (more often 2,5–6%) of water. The practical importance of studying perlites is due to the fact that they are a unique material that is used to produce a huge number of products used in various industries. Deposits of volcanic glass (perlite and obsidian), are spatially connected with areas of acidic volcanism. Most widely they are distributed among

acidic volcanic rocks of Paleogene-Quaternary age, and they are less common in Mesozoic volcanogenic strata. Among the volcanic rocks of Paleozoic and older ages, perlites are rare, since volcanic glass undergoes secondary changes over time.

On the territory of Kamchatka region perlites are widely distributed. More than thirty deposits of acid glasses are known in various parts of the Peninsula. In this paper

perlites of the Yagodninsky deposit of the South Kamchatka are considered. To develop a deposit of perlites and associated zeolites, it is necessary to evaluate the physical-mechanical properties of these rocks and to reveal the structural and mineralogical factors affecting the properties and features of failure.

Within the Yagodninsky deposit perlites form several lava flows and extrusives. It is established that perlites are composed mainly of acidic volcanic glass, partially hydrated, in which rare phenocrysts of K-Na feldspar (sanidine), plagioclase (oligoclase) and biotite occur. Some perlites contain spherulites, which are polymineral aggregates composed of K-Na feldspar and quartz. A characteristic feature of perlites is the concentric jointing, which was probably formed during the hydration of volcanic glass. Perlites are altered to varying degrees as a result of hydrothermal-metasomatic processes. Secondary alterations occurred in several stages, beginning with small cracks and ending with the entire volume of volcanic glass. The main secondary minerals are high-silica zeolites (clinoptilolite, heylandite, and mordenite), and smectites. It should be noted, that only volcanic glass underwent secondary changes, while phenocrysts of plagioclase, feldspar and biotite remained

unchanged. The composition of the secondary minerals and the character of the alteration indicates that the composition of thermal solutions was alkaline, and the temperature did not exceed 150 °C. Perlites were subdivided on four groups by the degree of alteration among which are unchanged, weakly, moderately, and highly altered.

Unchanged perlites differ in sufficiently high values of density and elastic properties, and low porosity, with voids mostly isolated and represented by microcracks. The uniaxial compression strength, despite the similar density of rocks, varies in a wide range and depends on microcracking. Secondary alteration of perlites significantly changes their properties. In general, there is a tendency to decrease in density, magnetic susceptibility (by an order of magnitude), elastic properties (E_d in 2 times), increase in porosity (both total and open), water absorption, and hygroscopic moisture. Hydrothermal process has different effects on the strength of perlites. In the first stage, due to the filling of multiple cracks with zeolites, the strength increases, but further transformations affecting volcanic glass lead to a reduction in strength. It should be noted, that the degree of alteration affects on the character of the rock failure. 

CAPTIONS TO FIGURES

Fig. 1. Schematic geological map of Yagodninsky deposit by [12], with changes [15]: 1 — andesites, andesitic tuffs; 2 — rhyolites; 3 — effusive dacites; 4 — extrusive dacites; 5 — thin-banded rhyolites; 6 — spherulitic rhyolites; 7 — tawny perlites; 8 — tawny spherulitic perlites; 9 — zeolitized perlites; 10 — tuffs, tuffites, tuff breccia; 11 — dark grey and green perlites; 12 — effusive basalts; 13 - alluvial deposits; 14 — basaltic dykes; 15 — basaltic andesites dykes; 16 — zeolitized perlitic breccia; 17 — tectonic faults: a — fixed, б — supposed

Fig. 2. Volcanic massif of the Yagodninsky deposit: a — the central part, b — the lava flow of perlites

Fig. 3. Perlite with spherulites. Yagodninsky deposit. The width of the field of view is 15 cm

Fig. 4. A sequence of perlites by the degree of alteration: a — unchanged, b — weakly altered, c — moderately altered, d — highly altered. The width of the field of view is 4 cm

Fig. 5. Unchanged perlites. Photomicrographs (one nicol): a — perlite structure, b — a section of volcanic glass without perlite structure (obsidian)

Fig. 6. Perlitic structure. Photomicrograph (one nicol).

Legend: yellow dotted line — small perlite structures, red dotted line — large perlitic structures, black dotted line — rectilinear cracks, secant rocks to blocks

Fig. 7. Spherulites in perlite. Photomicrographs (one nicol): a - dense, b — «openwork»

Fig. 8. SEM image of spherulite. Dark gray — quartz (or cristobalite), light gray — K-Na feldspar, white — ore sprouts (ilmeno-hematite)

Fig. 9. Substitution of K-Na feldspar phenocrysts (sanidine) with albite: a — inclusions of small crystals of oligoclase (dark gray) and ilmenite (white) in sanidine. At the top left is a lamellar phenocryst of biotite (light). The glass is partially transformed into perlite, sanidine is replaced by albite (gray); b — phenocrysts of sanidine are largely replaced by albite (gray) through a network of cleavage cracks. The volcanic glass is transformed into perlite (in reflected electrons)

Fig. 10. Weakly altered perlites. Zeolites and smectites develop within microcracks. Photomicrographs with one (a) and crossed (b) nicols

Fig. 11. Moderately altered perlites. Photomicrographs (crossed nicols): a — zeolites fill pores and replace volcanic glass, b — zeolites develop in concentric cracks

Fig. 12. Highly altered perlites. Photomicrographs: a - zeolitized volcanic glass (crossed nicols), b — microcracks (one nicol)

Fig. 13. Change in the properties of perlites depending on the degree of secondary alteration: a — density, b — porosity, c — elastic modulus, d — magnetic susceptibility; 1 — unchanged, 2 — weakly altered, 3 — moderately altered, 4 — highly altered

Fig. 14. Dependence of the elastic modulus of perlites on porosity: a — general graph, b — graph with divided into groups according to the degree of variability; 1 — unchanged, 2 — weakly altered, 3 — moderately altered, 4 — highly altered

CAPTIONS TO TABLES

Table 1. Chemical composition of volcanic glass by microprobe analysis (% by weight)

Table 2. Physical and physical-mechanical properties of perlites of the Yagodninsky deposit

REFERENCES

1. *Borisovskij S.E.* Osobennosti sferolitovoj kristallizacii v kislyh vulkanicheskikh steklah po dannym jelektronno-zondovogo mikroanaliza [Features of sferolitovy crystallization in sour volcanic glasses according to the electron probe microanalysis]: avtoref. dis. ... kand. geol.-min. nauk. M., 1989. (Rus.).
2. GOST 5180-84. Grunty. Metody laboratornogo opredelenija fizicheskikh harakteristik [Soil. Methods of laboratory definition of physical characteristics]. M.: Izd-vo standartov, 1984. (Rus.).
3. GOST 21153.3-85. Porody gornye. Metody opredelenija predela prochnosti pri odnoosnom rastjazhenii [Rocks. Methods of determination of strength at monoaxial stretching]. M.: Izd-vo standartov, 1985. (Rus.).
4. GOST 21153.2-84. Porody gornye. Metody opredelenija predela prochnosti pri odnoosnom szhatii [Rocks. Methods of determination of strength at monoaxial compression]. M.: Izd-vo standartov, 1984. (Rus.).
5. GOST 25100-2011. Grunty. Klassifikacija [Soil. Classification]. M.: Standrtinform, 2013. (Rus.).
6. *Isakovich G.A., Sergeeva K.A.* Racional'nye oblasti primeneniya perlitovogo syr'ja v promyshlennosti i ego jekonomicheskaja jeffektivnost' [Rational scopes of perlitovy raw materials in the industry and its economic efficiency]. V kn.: Perlity. M.: Nauka, 1981. S. 254–260. (Rus.).
7. *Kameneckij S.P.* Perlity. Svoystva, tehnologii, primenenie [Perlites. Properties, technologies, application]. M.: Gosstroyizdat, 1963. 280 s. (Rus.).
8. Laboratornye raboty po gruntovedeniju [Laboratory works on pedology] / Pod red. V.T. Trofimova i V.A. Koroleva M.: Vyssh. shk., 2008. 519 s. (Rus.).
9. *Nasedkin V.V.* Vodosoderzhashhie vulkanicheskie stekla kislogo sostava, ih genesis i izmenenie [The water containing volcanic glasses of sour structure, their genesis and change]. M.: AN SSSR, 1963. 210 s. (Rus.).
10. *Nasedkin V.V.* Petrogenesis kislyh vulkanitov [Petrogenesis of sour vulkanit]. M.: Nauka, 1975. 197 s. (Rus.).
11. *Nasedkin V.V.* Osnovnye zakonomernosti formirovaniya mestorozhdenij vodosoderzhashhih stekol i puti ih promyshlennogo ispol'zovaniya [The main regularities of formation of fields of the water containing glasses and way of their industrial use]. V kn.: Perlity. M.: Nauka, 1981. S. 17–42. (Rus.).
12. *Nasedkin V.V.* Kislyj vulkanizm i vodosoderzhashhie vulkanicheskie stekla Severo-Vostoka SSSR [Sour volcanism and the water containing volcanic glasses of the Northeast of the USSR]. M.: Nauka, 1983. 103 s. (Rus.).
13. *Petrov V.P.* Perlit, ego osobennosti i rasprostranenie v SSSR [Perlite, his features and distribution to the USSR]. V kn.: Perlit i vermikulit. M.: Gosgeoltehzdat, 1962. S. 9–21. (Rus.).
14. *Petrov V.P.* Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitiya perlitovoj promyshlennosti [Current state and prospects of development of the perlitovy industry]. V kn.: Perlity. M.: Nauka, 1981. S. 5–16. (Rus.).
15. *Rychagov S.N., Bojkova I.A., Sandimirova E.I.* Jagodninsko-Bannaja gidrotermal'no-magmatischeeskaja sistema (Kamchatka): kontrol' ceolitovogo, rudnogo i geotermal'nogo mestorozhdenij [Yagodninsko-Bannaya gidrotermalno-magmatic system (Kamchatka): control of zeolitic, ore and geothermal fields] / Materialy XII petrograficheskogo soveshhanija «Petrografija magmatischeeskikh i metamorficheskikh gornyh porod» [Materials XII of a petrographic meeting "Petrography of magmatic and metamorphic rocks"]. Petrozavodsk: Karel'skij nauchnyj centr RAN, 2015. S. 534–539. (Rus.).
16. *Frolova Ju.V.* Skal'nye grunty i metody ih laboratornogo izuchenija [Rocky soil and methods of their laboratory studying]. M.: KDU, 2015. 222 s. (Rus.).
17. *Chernyshov S.N.* Treschiny gornyh porod. M.: Nauka, 1983. 240 s. (Rus.).
18. *Shevchuk V.D.* Geneticheskie tipy mestorozhdenij kislyh vulkanicheskikh stekol na Kamchatke [Genetic types of fields of sour volcanic glasses on Kamchatka] / V kn. Perlity. M.: Nauka, 1981. S. 43–51. (Rus.).
19. *Lawless J., White P.* Origin of water in New Zealand perlites / Proceedings World Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia, 19–25 April 2015. URL: <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2015/12005.pdf>.

ЭЛЕКТРОННАЯ ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ



«ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ»,
«ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ»,
«ГЕОТЕХНИКА» И «ГЕОРИСК»

www.geomark.ru



ОБЪЕДИНЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛОВ
ДЛЯ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

СОЮЗ ИЗЫСКАТЕЛЕЙ
при поддержке
Ассоциации «Инженерные изыскания в строительстве» (АИИС)
ПРОДОЛЖАЕТ НАБОР ИЗЫСКАТЕЛЕЙ

СОЮЗ ИЗЫСКАТЕЛЕЙ СОЗДАН:

- ДЛЯ ОБЪЕДИНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ — СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ;
- ДЛЯ СОДЕЙСТВИЯ СВОИМ ЧЛЕНАМ В ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ИХ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ;
- ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ В РФ.

Вступать могут специалисты-изыскатели, работающие в организациях, входящих в любые СРО. Союз изыскателей открыт для вступления аспирантов и студентов в ряды профессионалов в инженерных изысканиях!

СОЮЗ ИЗЫСКАТЕЛЕЙ: ОБЪЕДИНЯЯ, СОВЕРШЕНСТВУЕМ!

Ознакомиться с уставом и положением о членстве в Союзе изыскателей можно на сайте www.np-si.ru

Контактная информация: тел. +7 (926) 234-21-05 или +7 (926) 234-22-07; e-mail: press@np-si.ru
фактический адрес: г. Москва, ул. Электрозаводская, д. 60