ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИГНИМБРИТОВ И ПЕМЗОВЫХ ТУФОВ МУТНОВСКО-ГОРЕЛОВСКОЙ ГРУППЫ ВУЛКАНОВ (КАМЧАТКА)

О. М. Топчиева¹, С. В. Москалева¹, А. Е. Сухарев²

¹ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский
topchieva2011@mail.ru; svemos@rambled.ru

² Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

В работе рассмотрена минералогия, петрография пемзовых туфов и игнимбритов Мутновско-Гореловской группы вулканов. Проведенные петрографические и минералогические исследования показали, что пемзовые туфы сформировались в результате деятельности вулкана Горелый, а также способствовали оценке степени вулканической опасности, возникающей в ходе подобных извержений.

Ключевые слова: горы Тарбаганья, Пемзовая; вулканы Горелый, Мутновский; Камчатка.

PETROGRAPHIC FEATURES OF IGNIMBRITES AND PUMICE TUFFS MUTNOVSKAYA-GORELOVSKAYA GROUP VOLCANOES OF KAMCHATKA

O. M. Topchieva¹, S. V. Moskalova¹, A. E. Sukharev²

¹ Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky

² Institute of Geology of Komi Science Center of UB RAS, Syktyvkar

The paper considers the mineralogy, petrography pumice tuffs and ignimbrites Mutnovsko-Gorelovskaya group of volcanoes. Carried out mineralogical and petrographic studies have shown that the pumice tuffs were formed as a result of the Gorely volcano, as well as contribute to the evaluation of the degree of volcanic hazards arising during such eruptions.

Keywords: mountains Tarbaganaya, Pemzovaya; volcanoes Gorely, Mutnovsky; Kamchatka.

Введение

Цель исследования – выявление геологической приуроченности пемзовых туфов района гор Пемзовая и Тарбаганья к вулканитам вулкана Горелый. Также вероятно, что пемзовые гряды образовались как два самостоятельных покрова вследствие трещинного извержения.

Существуют различные точки зрения авторов на формирование пемзовых туфов района гор Пемзовая и Тарбаганья. Одни исследователи считают, что туфы относятся к производным породам вулкана Мутновский [5–7], другие сопоставляют их с пемзовыми отложениями, которые распространены вокруг кальдеры вулкана Горелый [4], третьи считают, что эти горки – следы

самостоятельных трещинных извержений [11].

Задача исследования – определить петрографические, минералогические и структурно-текстурные особенности пемзовых туфов района гор Пемзовая и Тарбаганья, выявить и сравнить их общие характеристики с пемзовыми отложениями и игнимбритами вулкана Горелый.

Нами были отобраны и проанализированы пемзы, игнимбриты, а также пемзовые туфы, слагающие горы Пемзовая и Тарбаганья.

Исследованные пемзовые отложения и игнимбриты расположены в юго-восточной части полуострова Камчатка (рис. 1).

Рассматриваемые в данной работе пирокластические отложения,

представленные игнимбритами и пемзами, относятся к кальдерному комплексу вулкана Горелый. Шарп и др. [11] относили игнимбриты к трещинным извержениям, но большинство исследователей полагают, что они сформировались в период возникновения кальдеры вулкана Горелый вследствие обрушения кровли крупного магматического очага, внедренного в земную кору, как реакция на его опустошение серией грандиозных извержений газонасыщенной дацит-андезитовой магмы. Порожденные ими пемзопавы и высокоподвижные пирокластические потоки сформировали многослойный покров пемзовых туфов и главным образом игнимбритов [2, 6–8, 10].

Методика исследования

Состав минералов определялся в аналитических центрах Института геологии Коми НЦ УрО РАН и ИВиС ДВО РАН на сканирующих электронных микроскопах VEGA 3 TESCAN. Режим съемки — ускоряющее напряжение катода 20 кВ. Ошибка анализа не превышает 2–5 отн. %.

Для минералогических расчетов использовались программа Petro-Explorer, версии 3.1.1.2, созданная Е. В. Кориневским (Институт минералогии УрО РАН) [13].

Результаты исследований

Породы гор Тарбаганья и Пемзовая представлены пемзовыми туфами риодацитового состава. Пемзовые туфы состоят из обломков кристаллокластов, стекла (витрокластов) и литокластов. Характерна обломочная лито-, кристалло-, витрокластическая структура [3]. Цементирующим материалом служит разложенное вулканическое стекло, имеющее выраженную пузыристую текстуру. Количество обломков кристаллокластов в породе 25–35 %. Среди них резко преобладают плагиоклазы (85–90 %), в подчиненном количестве отмечаются ортопироксен (6–10 %) и клинопироксен (1–5 %) (см. таблицу). Размеры кристаллокластов варьируются от 0.2 до 1.5 мм [9].

Плагиоклаз относится по составу к андезину ($An_{38.68}Ab_{61.26}Or_{3.06}$) — лаборатору ($An_{38.68}Ab_{61.26}Or_{3.06}$) (рис. 2; рис. 4, а). Наряду с плагиоклазами присутствуют щелочные полевые шпаты, представленные анортклазом — санидином ($An_{9.19}Ab_{58.09}Or_{32.71}$).

Ортопироксен образует довольно крупные кристаллы шестоватой и таблитчатой формы, по составу соответству-

Рис. 1. Карта расположения вулканов Мутновский и Горелый, районы исследований показаны прямоугольной рамкой. Условные обозначения: 1 — места отбора игнимбритов и пемз вулкана Горелый, 2 — места отбора пемзовых туфов

Fig. 1. Map of location of Mutnovsky and Gorely volcanoes, areas of research are shown by rectangular frame. Legend: 1 — sites of picking ignimbrites and pumice of Gorely volcano, 2 — sites of picking pumice tufts

ет феррогиперстену ($Wo_{1-4}En_{60-69}Fs_{15-39}$) и пижониту ($Wo_{5-9}En_{56-63}Fs_{31-56}$). **Клинопироксен** представлен редкими вкрапленниками шестоватой формы, отвечающими по составу авгиту ($Wo_{39-41} \times En_{41-44}Fs_{14-18}$), наблюдается переходная форма от пижонита к авгиту ($Wo_{20} \times En_{48}Fs_{31}$) (рис. 3; 4, а, б).

Акцессорные минералы представлены преимущественно небольшими вкрапленниками размером 0.01–0.1 мм и редкими мелкими зернами в основной массе, которые по составу соответствуют **апатиту**, **титаномagnetиту**, **ильмениту**. **Титаномagnetит** имеет решетку (структура распада твердых растворов).

Помимо породообразующих минералов в породе присутствуют вторичные зерна хлорита, гидрослюда и кварца, которые заместили плагиоклазы, — это свидетельствует о том, что в районе гор Пемзовая и Тарбаганья была активная гидротермальная деятельность.

Основная масса представлена плагиоклазами и неоднородным девитрофицированным стеклом базальтового риолитового состава (54.64–84.52 вес. % SiO_2).

Литокласты в пемзовых туфах района гор Пемзовая и Тарбаганья представлены тремя видами: пемзами андезитового-риодацитового состава; ксеногенными обломками базальтов и

Химический состав проанализированных минералов

Chemical composition of the studied minerals

№ точки	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма	En	Fs	Wo	An	Ab	Or
1.1	54.23	0.00	0.64	17.76	1.07	25.07	1.30	0.00	0.00	100.07	68.54	28.9	2.55	—	—	—
1.2	58.2	0.00	25.97	0.50	0.00	0.00	8.02	6.71	0.49	99.89	—	—	—	58.53	38.66	2.81
1.3	52.74	0.84	2.01	8.94	0.50	15.78	19.9	0.46	0.00	101.17	44.6	14.98	40.42	—	—	—
2.1	54.61	0.00	28.82	0.63	0.00	0.00	11.38	4.95	0.29	100.68	—	—	—	43.31	55.02	1.67
2.2	57.75	0.00	26.76	0.65	0.00	0.00	8.64	6.59	0.58	100.97	—	—	—	56.10	40.64	3.24
2.3	54.38	0.29	1.00	15.38	0.49	27.05	1.65	0.00	0.00	100.24	72.85	23.96	3.19	—	—	—
2.4	54.00	0.32	1.35	15.84	0.60	26.66	2.00	0.00	0.00	100.77	71.62	24.52	3.86	—	—	—
2.5	52.11	0.61	2.34	8.98	0.37	15.8	20.02	0.37	0.00	100.6	44.59	14.81	40.6	—	—	—
3.1	54.46	0.32	1.08	17.83	1.21	25.07	1.32	0.00	0.00	101.29	68.29	29.12	2.58	—	—	—
3.2	55.19	0.00	27.03	0.34	0.00	0.00	9.86	5.42	0.28	98.12	—	—	—	49.03	49.29	1.66
3.3	58.60	0.00	27.03	0.57	0.00	0.00	8.81	6.38	0.50	101.89	—	—	—	55.10	42.05	2.84
3.4	51.73	0.65	2.14	8.59	0.60	14.77	20.85	0.44	0.00	99.77	42.30	14.78	42.92	—	—	—

Рис. 2. Диаграмма An-Ab-Or для плагиоклазов исследованных пород. Условные обозначения: 1 — пемзовые туфы гор Тарбаганья и Пемзовая; 2 — пемзы вулкана Горелый; 3 — игнимбриты вулкана Горелый

Fig. 2. An-Ab-Or diagram for plagioclases of the studied rocks. Legend: 1 — pumice tufts of mountains Tarbaganya and Pemzovaya; 2 — pumices of Gorely volcano; 3 — ignimbrites of Gorely volcano

Рис. 3. Диаграмма En-Wo-Fs для пироксенов исследованных пород. Поля составов пироксенов [1]: 1 — энстатит, 2 — бронзит, 3 — гиперстен, 4 — феррогиперстен, 5 — эвлит, 6 — ферросилит, 7 — Mg-пижонит, 8 — пижонит, 9 — Fe-пижонит, 10 — субкальцевый авгит, 11 — субкальцевый ферроавгит, 12 — эндиопсид, 13 — авгит, 14 — ферроавгит, 15 — феррогеденбергит, 16 — диопсид, 17 — салит, 18 — ферросалит, 19 — геденбергит. Штриховкой на диаграмме показаны поля составов, не встречающихся у природных пироксенов. Условные обозначения см. на рис. 2

Fig. 3. En-Wo-Fs diagram for pyroxene of the studied rocks. Pyroxene composition fields according [1]: 1 — enstatite, 2 — bronzite, 3 — hypersthene, 4 — ferrohypersthene, 5 — eulite, 6 — ferrosilite, 7 — Mg-pigeonite, 8 — pigeonite, 9 — Fe-pigeonite, 10 — subcalcium augite, 11 — subcalcium ferroaugite, 12 — endiopsid, 13 — augite, 14 — ferroaugite, 15 — ferrohedenbergite, 16 — diopside, 17 — salite, 18 — ferrosalite, 19 — hedenbergite. Shaded area on the diagram shows the composition fields, which do not occur in nature pyroxenes. See legend on Fig. 2

дациандезитов с гиалопилотакситовой структурой и микролитами плагиоклаза размером 0.2–0.4 мм; гидротермально-измененными дацитами с халцедоновыми секретами размером 15–25 мм.

Игнимбриты вулкана Горелый представляют собой массивные темно-серые или красноватые породы дацитово-

го состава (67.25–68.05 вес. % SiO₂). Они так же, как и пемзовые туфы, состоят из обломков кристаллокластов, вулканического стекла (витрокластов) и литокластов. Структура породы обломочная лито-, кристалло-, витрокластическая. Доля вкрапленников до ~20 %.

Породообразующие минералы представлены плагиоклазами, орто-

пироксенами и клинопироксенами (см. таблицу). Размеры кристаллокластов варьируются от 0.1 до 3 мм.

Плагиоклаз образует кристаллы удлиненно-табличатой формы, относящиеся по составу к ряду олигоклаз — лабрадор (рис. 2; 4, в).

Ортопироксен отмечен в виде мелких кристаллов округлой или шестоватой формы, отвечающих по составу феррогиперстену (Wo₂₋₄En₆₆₋₆₉Fs₂₃₋₃₁), (Wo₇₋₉En₄₃₋₄₅Fs₄₅₋₄₉) и эвлиту (Wo₂₋₃×En₇₀₋₇₂Fs₂₃₋₂₇). **Клинопироксен** отмечен в виде редких вкрапленников шестоватой формы, отвечающих по составу авгиту (Wo₃₉₋₄₄En₃₅₋₄₄Fs₁₅₋₂₀) и диопсиду (Wo₄₅En₃₀Fs₂₄) (рис. 3; 4, в).

Акцессорные минералы представлены титаномagnetитом, ильменитом, апатитом, magnetитом и гематитом. **Титаномagnetит** имеет решетку (структура распада твердых растворов).

Игнимбриты были подвержены процессам гидротермальной деятельности — отмечены зерна хлорита, замещившие минералы плагиоклаза и щелочных полевых шпатов.

Основная масса сложена плагиоклазами и девитрофицированным стеклом дацитового-риолитового состава (66.76–90.09 вес. % SiO₂). Микроструктура основной массы гиалиновая.

Ксеногенные обломки (литокласты) представлены базальтами и андезибазальтами. Их количество колеблется от 5 до 20 % в породах, размеры варьируются от несколько миллиметров до 5 сантиметров.

Внемзах вулкана Горелый присутствуют кристаллы-вкрапленники, между которыми расположена стекловатая основная масса [3]. Породы почти не изменены вторичными процессами; имеются пустоты до 23 мм. Ксеногенные обломки отсутствуют.

Структура пород редкопорфировая, микроструктура основной массы гиалиновая, близкая к флюидальной. Кристаллокласты составляют ~1–5 % от общего объема породы. Размер их варьируется от 1 до 2 мм. Вкрапленники распределены в породах неравномерно, представлены плагиоклазом, орто- и клинопироксенами (см. таблицу).

Кристаллы плагиоклаза идиоморфны, изометричной или табличатой формы. Их минеральный состав аналогичен плагиоклазам из пород гор Тарбаганья и Пемзовая — это андезин (47–37 % мол. An), лабрадор (An_{49,81}×Ab_{49,81}Or_{2,14}), переходные разновидности между андезином и лабрадором (An_{47,62}Ab_{50,31}Or_{2,07}) (рис. 2; 4, г).

Ортопироксен образует крупные кристаллы округлой формы, по составу отвечает феррогиперстену ($Wo_{2-3} \times En_{68-69} Fs_{28-29}$). Клинопироксен представлен редкими вкрапленниками таблитчатой формы, отвечающими по составу авгиту ($Wo_{41-42} En_{42-44} Fs_{14-15}$) (рис. 3; 4, г). В редких случаях кристаллы клинопироксена содержат микровключения сульфида — пирит.

Акцессорные минералы представлены небольшими вкрапленниками размером 0.01—0.3 мм и редкими мелкими зернами в основной массе, которые по составу соответствуют апатиту, титаномagnetиту, ильмениту.

Основная масса пемз вулкана Горелый сложена нераскристаллизованным стеклом риодацитового состава (68.49—70.27 вес. % SiO_2) и редкими, очень мелкими кристаллами рудных минералов.

Обсуждение результатов

Проведенные петрографические исследования пород показали, что пемзовые туфы района гор Пемзвая и Тарбаганья схожи с пирокластическими отложениями вулкана Горелый. Пемзовые туфы и игнимбриты имеют похожую структуру — обломочную лито-, кристалло-, витрокластическую. Набор кристаллов-вкрапленников также схож (плагииоклазы, щелочные полевые шпаты, орто- и клинопироксены).

Пемзовые туфы и игнимбриты имеют ксеногенные обломки, пемзы вулкана Горелый состоят лишь из стекла и минералов-вкрапленников, имеют порфировую структуру. Поэтому можно предположить, что породы гор Пемзвая и Тарбаганья схожи именно с игнимбритами вулкана Горелый и имеют схожий генезис.

Выводы

Исследованные кислые породы вулкана Горелый, пемзовые туфы гор Пемзвая и Тарбаганья имеют идентичный набор минералов-вкрапленников (плагииоклаз + ортопироксен + клинопироксен) и акцессорных минералов (ильменит, титаномagnetит, апатит). Наличие в породах кристаллов ильменита и феррогиперстена позволяет предположить, что их кристаллизация происходила в относительно восстановительных условиях.

Пемзовые туфы сложены из обломков горных пород — базальтов, андезитов и риодацитов. Порообразующие минералы представлены плагииок-

Рис. 4. Вкрапленники плагииоклаза, ортопироксена и клинопироксена в пемзовых туфах гор Пемзвая и Тарбаганья (а, б); игнимбритах (в) и пемзах (г) вулкана Горелый
Fig. 4. Plagioclase, orthopyroxene and clinopyroxene in pumice tufts and pumice of Pemzovaya and Tarbaganya mountains (a, b); ignimbrites (d) and pumices (r) of Gorely volcano

лазами (андезин — лабрадор), пироксенами (феррогиперстен — пизонит; авгит) и щелочными полевыми шпатами (анортотлаз — санидин).

Игнимбриты сложены очень кислым стеклом и различными обломками горных пород. Набор минералов-вкрапленников схож с пемзовыми туфами гор Пемзвая и Тарбаганья: плагииоклазы (олигоклаз — лабрадор), орто- (феррогиперстен — эвлит) и клинопироксены (авгит — диопсид).

Пемзы вулкана Горелый состоят из нераскристаллизованного кислого стекла и фенотристаллов. Ксеногенные обломки отсутствуют. Но минеральный состав схож с порообразующими минералами пемзовых туфов — это плагииоклазы ряда андезин — лабрадор и пироксены ряда феррогиперстен, авгит.

Пемзы, игнимбриты вулкана Горелый и пемзовые туфы гор Пемзвая и Тарбаганья имеют схожий минеральный состав и текстурно-структурные характеристики, что позволяет сделать вывод о том, что они принадлежат к

деятельности одного вулкана — вулкана Горелый.

Однако существует ряд вопросов в формировании пемзовых гор Пемзвая и Тарбаганья. Эти гряды имеют северо-восточное простирание и морфологически относятся к вулкану Мутновский. Именно по этой причине многие исследователи относят пемзовые горки к Мутновскому вулкану. Для решения данной проблемы потребуются дополнительные исследования.

За помощь в проведении исследований авторы выражают благодарность сотрудникам Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН М. Ю. Пузанкову, Г. П. Пономареву, Р. Л. Дуни-Барковскому, а также доктору геол.-мин. наук В. А. Петровскому за полезное обсуждение полученных результатов.

Исследования были проведены по программе научно-исследовательских работ, выполняемых в Камчатском государственном университете имени Витуса Беринга в рамках государственного заказа 2012 г. (регистрационный номер НИР: 5.3799.2011).

Литература

1. Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. М.: Мир, 1965. Т. 2. 405 с.
2. Кирсанов И. Т., Мелекесцев И. В. Вулкан Горелый // Действующие вулканы Камчатки. М: Наука, 1991. Т. 2. С. 292—315.
3. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 200 с.
4. Плечова А. А., Портнягин М. В., Пономарева В. В. и др. Петрохимическая характеристика пемз вулканического центра Горелый (Камчатка) как основа для их корреляции с тейфрой из колонок Северо-Западной Пацифики // Материалы XX Международной научной конференции (школы) по морской геологии. Москва: ГЕОС, 2013. Т. 1. С. 249—253.
5. Маренина Т. Ю. Геолого-петрографический очерк Мутновского вулкана // Труды лаборатории вулканологии. Петропавловск-Камчатский, 1956. Вып. 12. С. 3—52.
6. Селянгин О. Б. К вулканам Мутновский и Горелый: Вулканологический и туристический путеводитель. Петропавловск-Камчатский: Новая Книга. 2009. 108 с.
7. Селянгин О. Б. Новое о вулкане Мутновском: строение, развитие, прогноз // Вулканология и сейсмология. 1993. № 1. С. 17—35.
8. Селянгин О. Б., Пономарева В. В. Строение и развитие Гореловского вулканического центра // Вулканология и сейсмология. 1999. № 2. С. 3—23.
9. Топчиева О. М., Мостовая Т. В. Петрографическая характеристика пород в районах гор Пемзовая и Тарбаганья Мутновско-Гореловской группы вулканов, Камчатка // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 23-й научной конференции. 25—27 ноября 2014 г. Сыктывкар: Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 2014. С. 123—129.
10. Чащин А. А., Мартынов Ю. А. Петрология пород вулканов Горелый и Мутновский (Южная Камчатка). Владивосток: Дальнаука, 2011. 270 с.
11. Шаронов В. Н., Симбирев И. Б., Третьяков Г. А. и др. Магматизм и гидротермальные системы Мутновского блока Южной Камчатки. Новосибирск: Наука, 1979. 152 с.
12. Шеймович В. С. Игнимбриты Камчатки М.: Недра, 1979. 179 с.
13. <http://petroexp.ox9.ru/>

References

1. Dir U. A., Haui R. A., Zusman J. *Porodoobrazuyushchie mineral* (Rock forming minerals). Moscow, Mir, V. 2, 1965, 405 pp.
2. Kirsanov I. T., Melekestsev I. V. *Vulkan Gorely* (Gorely volcano). *Deistvuyushchie vulkany Kamchatki*. V. 2, Moscow: Nauka, 1991, pp. 292—315.
3. *Petrograficheskii kodeks Rossii. Magmaticheskie, metamorficheskie, metasomaticheskie, impaktnye obrazovaniya* (Petrographic code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formations). Saint-Petersburg: VSEGEI, 2009, 200 pp.
4. Plechova A. A., Portnyagin M. V., Ponomareva V. V. et al. *Petrohimicheskaya harakteristika pemz vulkanicheskogo tsentra Gorelyi (Kamchatka) kak osnova dlya ih korrelyatsii s tefroi iz kolonok severo-zapadnoi Patsifiki* (Petrochemical characteristics of pumices of volcanic center Gorely (Kamchatka) as base for their correlation with tephra from north-western Pacifica). Proceedings of conference, 2013, V. 1, Moscow: GEOS, pp. 249—253.
5. Marenina T. Yu. *Geologo-petrograficheskii ocherk Mutnovskogo vulkana* (Geological and petrographic essay of Mutnovsky volcano). *Trudy laboratorii vulkanologii*, 1956, Ed. 12, Petropavlovsk-Kamchatskii, pp. 3—52.
6. Selyangin O. B. *K vulkanam Mutnovskii i Gorelyi: Vulkanologicheskii i turisticheskii putevoditel* (Volcanological and tourist guidebook to volcanoes Mutnovsky and Gorely). Petropavlovsk-Kamchatskii, Novaya Kniga, 2009, 108 pp.
7. Selyangin O. B. *Novoe o vulkane Mutnovskom: stroenie, razvitie, prognoz* (New data about Mutnovsky volcano: structure, development, prognosis). *Vulkanologiya i seismologiya*, 1993, No. 1, pp. 17—35.
8. Selyangin O. B., Ponomareva V. V. *Stroenie i razvitie Gorelovskogo vulkanicheskogo tsentra* (Structure and development of Gorely volcanic center). *Vulkanologiya i seismologiya*, 1999, No. 2, pp. 3—23.
9. Topchieva O. M., Mostovaya T. V. *Petrograficheskaya harakteristika porod v raionah gor Pemzovaya i Tarbaganya Mutnovsko-Gorelovskoi gruppy vulkanov, Kamchatka. Struktura, veschestvo, istoriya litosfery Timano-Severoural'skogo segmenta* (Petrographic characteristics of rocks in areas of Pemzovaya and Tarbaganya mountains of Mutnovsky-Gorely volcanic group, Kamchatka. Structure, substance, history of lithosphere of Timan-Northern Ural segment). Proceedings of conference. 25—27 November 2014, Syktyvkar, Institute of Geology of Komi SC UB RAS, pp. 123—129.
10. Chaschin A. A., Martynov Yu. A. *Petrologiya porod vulkanov Gorelyi i Mutnovskii* (Yuzhnaya Kamchatka) (Petrology of rocks of Gorely and Mutnovsky volcanoes). Vladivostok, Dalnauka, 2011, 270 pp.
11. Sharapov V. N., Simbirev I. B., Tretyakov G. A. et al. *Magmatizm i gidrotermal'nye sistemy Mutnovskogo bloka Yuzhnoi Kamchatki* (Magmatism and hydrothermal systems of Mutnovsky block of South Kamchatka). Novosibirsk, Nauka, 1979, 152 pp.
12. Sheimovich V. S. *Ignimbrity Kamchatki* (Kamchatka Ignimbrites). Moscow, Nedra, 1979, 179 pp.
13. <http://petroexp.ox9.ru/>

Рецензент

к. г.-м. н. Г. П. Пономарёв