

УДК 552.313:554+930.26(571.6)

ГЕОХИМИЯ ОБСИДИАНОВ ОЗЕРА КРАСНОЕ НА ЧУКОТКЕ (СЕВЕРО-ВОСТОК СИБИРИ)

© 2017 г. В. К. Попов^{1,*}, А. В. Гребенников^{1,2}, Я. В. Кузьмин^{3,4}, М. Д. Гласкок⁵,
Е. А. Ноздрачев¹, С. Ю. Будницкий¹, И. Е. Воробей⁶

Представлено академиком РАН А.Н. Ханчуком 02.03.2015 г.

Поступило 17.11.2015 г.

Рассмотрены особенности геохимического состава обсидианов из пляжевых отложений оз. Красное и лаво-пирокластических пород, слагающих береговые обнажения озера и окружающие его с востока отроги хр. Рарыткин. Впервые выделено и изучено два геохимических типа обсидианов, которые по химическому составу соответствуют лавам (первый тип) и игнимбритоподобным туфам (второй тип) риолитов Рарыткинского ареала, отражающих завершающий этап проявления кислого вулканизма Западнокамчатско-Корякского окраинно-континентального вулканического пояса. Предполагаем, что накопление обсидиана в береговых галечниках связано с эрозией экструзивных куполов и пирокластических потоков. Проведённое авторами геохимическое изучение обсидиановых артефактов из археологических памятников Приохотья, Колымы, Чукотки и корреляция геологических и археологических образцов свидетельствуют о том, что оз. Красное – важнейший источник “археологического” обсидиана на Северо-Востоке Сибири.

DOI: 10.7868/S0869565217270196

Озеро Красное в нижнем течении р. Анадырь (Северо-Восточная Сибирь, Чукотский АО) издавна привлекает к себе внимание геологов, географов, археологов в связи с неоднозначными взглядами на происхождение озёрной котловины, выходами на западном и восточном берегах кайнозойских вулканических пород и значительной концентрацией в пляжевых береговых отложениях галек обсидиана, которые в течение длительного периода (с позднего неолита до этнографической современности) использовали для изготовления обсидиановых орудий, широко распространённых в археологических памятниках Приохотья, бассейна р. Колыма, Корякии, Чукотки, Аляски [1–5].

¹Дальневосточный геологический институт
Дальневосточного отделения Российской Академии наук,
Владивосток

²Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

³Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Новосибирск

⁴Томский государственный университет

⁵Исследовательский реакторный центр, Университет
Миссури, Колумбия, США

⁶Магаданский областной краеведческий музей

*E-mail: vladpov@fegi.ru

Происхождение впадины оз. Красное площадью 32 × 18 км (рис. 1) исследователи связывают с тектоническими, вулканическими или термокарстовыми процессами [1, 6]. Окружающие озеро с запада Чикаевские горы (абс. выс. 280–390 м), а с востока – северные отроги хр. Рарыткин (350–420 м) сложены палеогеновыми эффузивами. Поля эффузивов выделены в Рарыткинский ареал Западнокамчатско-Корякского окраинно-континентального вулканического пояса [6, 7]. Характерная черта этого ареала – широкое распространение кислых вулканических пород (лавы, игнимбриты и туфы риолитов, риодацитов, дацитов, реже – андезитов), образующих толщу мощностью до 270 м, которая завершает разрез вулканогенных образований позднеэоцен-олигоценовой базальт-андезит-дацит-риолитовой серии, детально охарактеризованной в [6, 7]. В береговых обрывах эффузивная толща представлена туфами и игнимбритами риолитов и риодацитов.

Петролого-геохимические исследования в данном регионе кайнозойского вулканизма главным образом были связаны с базальтами [6, 7]. Изучение вещественного состава пород дацит-риолитового состава и вулканических стёкол в их петрогенетическом аспекте (за исключением [1]) не проводили. В то же время геохимическое изучение обсидианов оз. Красное и кислых эффузивных образований имеет большое научное

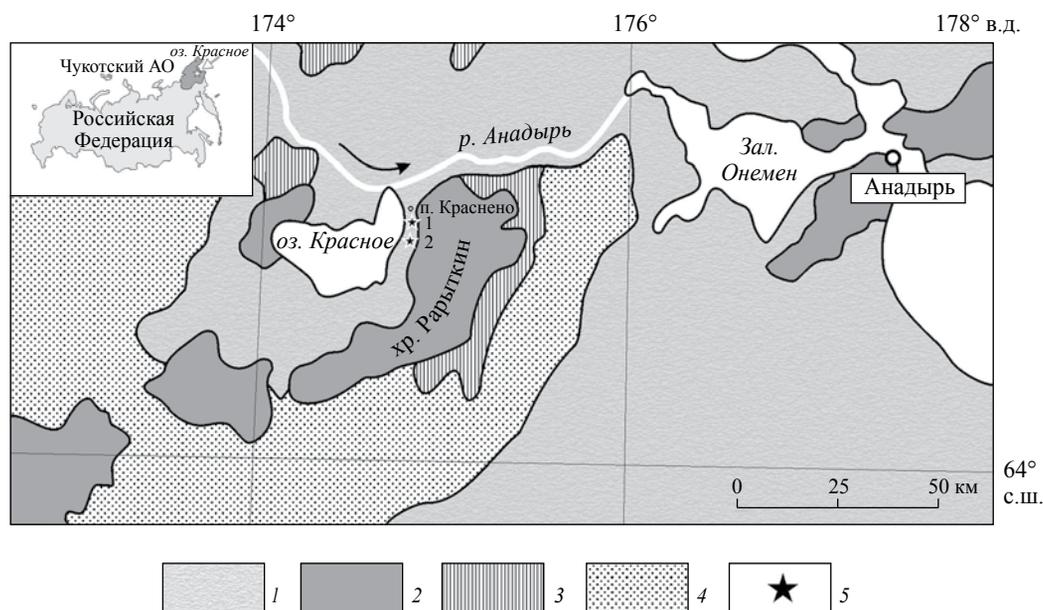


Рис. 1. Схематическая геологическая карта оз. Красное ([1] с изменениями и дополнениями). 1 — четвертичные терригенные отложения; 2 — позднеэоцен-олигоценные породы Западно-Корякского вулканического пояса; 3 — палеоцен-среднеэоценовые базальты; 4 — породы мезозойского фундамента; 5 — точки отбора обсидианов: руч. Мысовый (1), м. Рыбачий (2).

значение с позиции их генезиса и эволюции кислого вулканизма Камчатско-Корякского окраинно-континентального вулканического пояса и для решения важнейших задач георхеологии. Изучение обсидиана, проводимое на основе сравнения геохимического состава артефактов и геологических образцов, позволяет выявить особенности его распространения с позднего палеолита до этнографической современности на севере Дальнего Востока России и Северо-Восточной Сибири, а также реконструировать пути миграции древнего человека в этом обширном регионе, включая период существования Берингийского сухопутного моста (11–20 тыс. л.н.) [8]. Ранее был сделан вывод о том, что обсидиан с берегов оз. Красное был принесён на Аляску через Берингов прол. ~3–5 тыс. л.н. [2]. Первые данные по составу и распространению обсидианового сырья на территории Северо-Востока России [4, 5] свидетельствуют в пользу его достоверности. Таким образом, окончательные выводы могут быть получены только с помощью детального геохимического изучения вулканических пород и обсидианов оз. Красное, а также обсидиановых орудий из археологических памятников северо-восточных регионов России, чему и посвящена наша работа.

Для решения поставленных задач были изучены петрографический и геохимический составы вулканических пород, слагающих коренные выходы на западном и восточном берегах оз. Красное, и образцов обсидиана из пляжевых отложений.

На восточном побережье озера разрез начинается с горизонта интенсивно аргиллизированных туфов риолитов, которые выше перекрываются мощными потоками игнимбритов риолитового и риодацитового составов и прорывающими их гиалориолитами. Туфы и игнимбриты содержат крупные (до 0,5 см) обломки кристаллов морионоподобного (дымчатого) кварца, плагиоклаза, биотита. В гиалориолитах вкрапленники дымчатого (сходного по цвету с обсидианом) кварца, плагиоклаза, биотита, ортопироксена и магнетита погружены в основную массу, сложенную светло-серым вулканическим стеклом (перлитом). В осевой части хр. Рырыткин (в 10 км от береговой линии) разрез завершается потоками дацитов и андезитов (рис. 1).

При описании вулканических стёкол оз. Красное было отмечено, что обсидиан в виде валунов и галек встречается на восточном и западном берегах озера [1]. Выделено две его разновидности. К первой относится чёрный обсидиан “со слабым белесоватым оттенком”, который при нагревании хорошо вспучивается. Вторая разновидность представлена чёрным “матовым” стеклом, которое не вспучивается даже при 1150–1200 °С. Полевые исследования подтвердили наличие этих разновидностей вулканического стекла на восточном берегу озера к югу от пос. Красное, с максимальной его концентрацией в руч. Мысовом и на м. Рыбачьем. В пляжевых отложениях чаще всего встречаются обсидиановые гальки

Таблица 1. Петрохимический (мас.%) и микроэлементный (г/т) состав представительных образцов обсидиана и вулканических пород оз. Красное

Компонент	АВ-73/1	АВ-74/1	АВ-74/2	АВ-72	АВ-74/3	АВ-74/5	АВ-73/3	АВ-75	АВ-76	АВ-76/3bl	АВ-76/3sp	АВ-75/1ш	АВ-75/3ш
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	72,02	70,76	73,62	75,37	76,21	74,85	77,05	76,75	76,98	77,16	77,40	77,14	77,01
TiO ₂	0,35	0,38	0,27	0,16	0,15	0,12	0,07	0,07	0,09	0,07	0,07	0,10	0,11
Al ₂ O ₃	13,72	14,64	13,44	12,09	13,22	12,20	12,12	12,17	12,22	12,33	12,27	11,81	11,78
Fe ₂ O ₃ обш	2,78	2,09	1,99	1,52	1,38	1,29	1,02	1,05	1,02	0,94	0,92	1,55	1,58
MnO	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
MgO	0,22	0,36	0,33	0,29	0,11	0,15	0,04	0,03	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01
CaO	1,43	1,64	1,20	1,13	0,60	0,73	0,42	0,41	0,43	0,44	0,43	0,21	0,21
Na ₂ O	3,70	3,92	3,51	2,71	3,64	3,41	3,89	3,90	3,89	3,87	3,90	4,31	4,30
K ₂ O	4,14	3,89	4,14	4,43	4,31	4,49	4,59	4,58	4,58	4,50	4,39	4,29	4,36
P ₂ O ₅	0,08	0,01	0,02	0,09	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01
H ₂ O ⁻	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,12	0,14	0,05	0,18
п.п.п.	0,91	0,87	0,92	2,38	0,87	2,45	0,21	0,30	0,30	0,32	0,14	0,25	0,09
Сумма	99,38	98,58	99,45	100,19	100,52	99,73	99,44	99,28	99,57	99,79	99,69	99,74	99,65
Be	3,46	3,32	3,82	3,56	7,29	7,64	4,74	5,29	5,13	4,17	4,09	3,83	4,24
Sc	7,6	7,3	5,5	4,40	5,0	4,80	9,5	2,5	2,4	3,3	3,6	2,9	2,7
V	26,42	28,44	18,43	12,43	9,32	10,02	5,24	4,43	3,59	1,32	1,39	1,09	1,31
Cr	16,3	<2	<2	1,97	<2	12,20	<2	<2	13,1	4,53	2,74	4,47	3,82
Co	3,40	3,38	2,23	2,38	1,26	0,92	0,23	0,21	0,22	0,19	0,18	0,12	0,17
Ni	11	2,5	1,7	3,04	7,4	16,70	5,6	<1	17,2	2,9	1,2	1,0	1,6
Zn	50,8	46,8	39,7	37,90	37,8	42,10	50,6	49,2	51,4	47,9	46,5	97,8	95,8
Ga	20,94	22,07	21,31	17,62	25,09	22,77	22,27	21,81	21,33	22,52	23,14	26,14	27,09
Rb	125,1	124,3	149,6	161,38	259,2	252,69	197,1	196,6	193,3	186,4	179,1	126,6	137,1
Sr	102,7	120,3	85,4	123,22	26,8	27,19	3,8	3,4	3,2	3,0	2,9	0,9	2,5
Y	46,06	30,79	37,20	45,27	49,50	117,58	74,78	59,93	58,63	65,03	63,63	86,48	90,38
Zr	218,7	237,8	224,5	108,75	121,4	101,72	118,7	109,6	115,9	116,9	116,6	412,5	433,1
Nb	6,19	6,76	7,75	6,17	12,44	8,69	8,58	7,09	8,64	8,37	8,57	13,04	12,93
Mo	0,79	0,20	0,67	0,92	0,68	0,65	0,71	1,37	1,48	1,13	1,23	2,97	3,05
Sn	5,43	6,31	7,09	4,00	15,95	16,67	16,23	9,93	10,26	8,01	7,69	5,82	6,11
Cs	6,61	6,68	9,45	6,09	21,63	24,05	16,91	16,79	16,80	8,28	7,36	4,53	4,78
Ba	543,3	529,3	404,4	282,40	119,8	97,50	24,1	19,9	18,9	17,7	14,8	24,3	27,6
La	44,27	24,08	34,62	16,27	19,69	22,97	23,03	22,38	21,51	21,50	20,15	36,61	39,60
Ce	76,77	51,67	76,67	38,69	47,67	54,22	59,12	58,12	56,77	53,79	50,14	84,89	91,39
Pr	12,22	6,02	8,68	4,75	5,54	7,84	7,54	7,33	7,15	6,94	6,85	11,02	11,76

Таблица 1 (окончание)

Компонент	АВ-73/1	АВ-74/1	АВ-74/2	АВ-72	АВ-74/3	АВ-74/5	АВ-73/3	АВ-75	АВ-76	АВ-76/3bl	АВ-76/3sp	АВ-75/1ш	АВ-75/3ш
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Nd	49,58	23,51	33,7	18,40	22,30	37,11	31,38	31,40	30,58	29,94	29,94	44,80	49,58
Sm	10,96	4,80	5,93	6,50	6,12	11,91	8,68	9,01	8,82	7,90	7,57	10,77	12,90
Eu	0,71	0,70	0,47	0,18	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,07	0,03	0,21	0,20
Gd	10,28	5,25	6,45	5,56	6,71	13,54	9,63	8,59	9,82	8,63	8,45	12,19	12,72
Tb	1,47	0,79	0,96	1,15	1,30	2,58	1,84	1,69	1,59	1,64	1,59	2,30	2,39
Dy	9,63	5,80	6,36	7,95	8,75	18,57	11,97	11,08	11,23	10,20	9,67	13,98	13,94
Ho	1,53	0,94	1,10	1,39	1,46	3,52	2,03	1,99	1,96	2,19	2,11	3,04	3,13
Er	5,00	3,18	3,70	4,26	5,29	12,58	6,58	6,35	6,44	6,72	6,57	9,49	9,04
Tm	0,66	0,42	0,51	0,55	0,83	1,73	0,88	0,85	0,81	0,93	0,90	1,32	1,24
Yb	4,58	2,95	3,47	3,26	5,11	11,69	6,59	6,01	5,27	5,62	5,41	8,42	8,12
Lu	0,66	0,46	0,50	0,48	0,73	1,56	1,07	0,79	0,85	0,87	0,86	1,20	1,28
Hf	7,22	8,02	7,52	3,72	5,66	5,94	6,52	5,68	5,96	5,55	5,58	12,36	13,18
Ta	0,68	0,71	0,97	0,51	1,81	1,23	1,15	1,07	1,28	0,72	0,75	0,82	0,98
W	1,16	1,27	0,99	4,28	2,51	4,00	2,31	2,23	2,83	2,95	2,89	2,10	1,83
Pb	15,42	14,38	17,33	14,78	23,36	22,52	23,09	23,25	21,99	22,81	24,13	23,38	22,85
Th	12,47	12,67	14,56	8,80	26,57	25,51	18,00	17,05	17,00	15,01	15,39	12,47	13,05
U	3,12	3,44	3,81	3,39	5,82	8,53	5,77	5,81	5,87	5,93	5,95	4,20	4,24
Na ₂ O/K ₂ O	0,89	1,01	0,85	0,61	0,84	0,76	0,85	0,85	0,87	0,86	0,89	1,00	0,99
K/Rb	275	260	230	228	138	147	193	193	188	200	203	281	264
Rb/Sr	1,22	1,03	1,75	1,31	9,66	9,23	51,46	57,32	60,42	61,51	61,76	134,68	53,98
Ba/Rb	4,34	4,26	2,70	1,75	0,46	0,38	0,12	0,10	0,10	0,09	0,08	0,19	0,20
Zr/Nb	35,33	35,17	28,97	17,63	9,76	11,7	13,83	15,46	13,41	13,97	13,61	31,63	33,5
Zr/Hf	30,29	29,65	30,96	29,23	21,45	17,12	18,21	19,3	19,44	21,06	21,9	33,37	32,86
Th/La	0,28	0,53	0,42	0,54	1,35	1,11	0,78	0,76	0,79	0,7	0,76	0,34	0,33
Ba/La	12,27	21,98	11,68	17,36	6,08	4,24	1,04	0,89	0,88	0,82	0,73	0,66	0,70

Примечание: 1–3 – туфы и игнимбриты риолитов, риодацитов; 4–6 – лавы, экструзивы гиалориолитов; 7–11 – обсидианы высокоглинозёмистые; 12, 13 – обсидианы субщелочные. Аналитические исследования проводили в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН. 1–9 – определение концентраций петрогенных элементов выполнено на спектрометре S4 Pioneer, аналитик Е.А. Ноздрачев; 11, 12 – определение содержания SiO₂, H₂O⁺, п.п.п. – методом гравиметрии, аналитики Л.И. Алексеева, Л.А. Авдвинина; содержания других оксидов – методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 6500Duo, аналитики Г.А. Горбач, Е.А. Ткалина, Н.В. Хуркало. Определение редких элементов выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре Agilent 7500, аналитик М.Г. Блохин. Прочерк – не обнаружено; н.о. – не определялось.

(0,5–10 см в диаметре) и более редкие валуны (до 30 см). Они состоят из чёрного (морионоподобного) стекла, имеют характерный раковинистый излом, сильный стеклянный блеск в свежих сколах и “белесоватый” оттенок на выветрелой поверхности. Единично встречается обсидиан с пятнисто-полосчатой текстурой, обусловленной кирпичной окраской окисленных участков, неравномерно развивающихся по чёрному флюидальному стеклу. В шлифах прозрачное стекло насыщено мельчайшими выделениями рудных минералов и включений, образующих скопления в виде тонких полосок, отражающих течение расплава. В некоторых образцах обсидиана содержатся до 0,2 мм в поперечнике кристаллоподобные выделения санидина, редкие зёрна циркона и амфибола. Поверхность слабо окатанных галек покрыта конхоидальными (раковинообразными) микротрещинами и содержит следы вдавливания от рогулек стекла. Такие признаки характерны для кислых вулканических стёкол, связанных с гиалокластитами [9]. Гальки, валуны “матового” обсидиана встречаются крайне редко. По данным оптической и сканирующей электронной микроскопии, он имеет криптозернистую структуру.

Геохимическое изучение вулканических пород проведено в Аналитическом центре Дальневосточного геологического института ДВО РАН (масс-спектрометрический с индуктивно связанной плазмой и рентгенофлуоресцентный анализы) и в Исследовательском реакторном центре Университета Миссури, США (нейтронно-активационный и рентгенофлуоресцентный анализы). Изучено 11 образцов вулканических пород, 10 геологических, 229 археологических образцов обсидиана. Данные микроэлементного состава геологических, археологических образцов обсидиана были статистически обработаны с использованием кластерного и факторного анализов по методике в [10].

Туфы, игнимбриты и лавы риолитов и риодацитов рарыткинского ареала относятся к калиево-натриевой ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 0,8–1$) известково-щелочной высокоглинозёмистой ($\text{ASI} = 1,04–1,08$) серии. Коэффициент агпаитности от 0,73–0,77 в игнимбритах и туфах до 0,81–0,86 в лавах риолитов. Вулканические породы характеризуются фракционированным спектром распределения редких и рассеянных элементов. Относительно состава верхней коры по [11] в породах повышены концентрации Rb, Th, U, Y и понижены Nb, Ba, Sr, Tb. На графиках нормированного по хондриту [12] распределения РЗЭ кислые эффузивы, включая гиалориолиты и вулканические стёкла, образуют единый тренд с незначительным отрицательным наклоном от La к Eu. Для всех типов пород характерен Eu-минимум, наиболее

выраженный в экструзивных гиалориолитах и вулканических стёклах.

Вулканические стекла относятся к калиево-натриевой ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 0,85–1,22$) известково-щелочной серии. По индексу насыщения глинозёмом и соотношению щёлочей они распадаются на две группы. Первая (преобладает) относится к высокоглинозёмистому ($\text{ASI} = 1,00–1,03$; $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 0,85–0,89$), вторая (единичные образцы) – к субщелочному ($\text{ASI} = 0,97–0,98$; $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 0,99–1,22$) петрохимическим типам. В обсидианах первой группы коэффициент агпаитности 0,89–0,94, во второй группе 0,99–1,00. Последние также отличаются более высокими концентрациями Na_2O , Fe_2O_3 и низкими Al_2O_3 , CaO (табл. 1, обр. 12, 13; табл. 2, обр. 7, 8). Наиболее значимые отличия выражены в микроэлементном составе. Субщелочные обсидианы относительно высокоглинозёмистых обогащены Zr, Nb, Hf, Y, Dy и обеднены Rb, U, Th (табл. 1). Для последних также характерны глубокие минимумы по Ba, Sr. По геохимическому составу данные типы вулканических стёкол обнаруживают родство с различными фациями вулканических пород. Так, по содержанию ряда редких (Rb, Zr, Cs, U, Th) и РЗЭ высокоглинозёмистые обсидианы близки лавам и экструзивным телам гиалориолитов, а субщелочные – игнимбритам и туфам риолитов и риодацитов (табл. 1). Это отражается в близких значениях индикаторных отношений K/Rb, Zr/Nb, Zr/Hf и др. (табл. 1; рис. 2), которые свидетельствуют об их генетическом родстве. К–Ar-даты образцов высокоглинозёмистого обсидиана и туфа риолита (табл. 3) также указывают на их одновременное формирование.

Полученные в Исследовательском реакторном центре Университета Миссури результаты

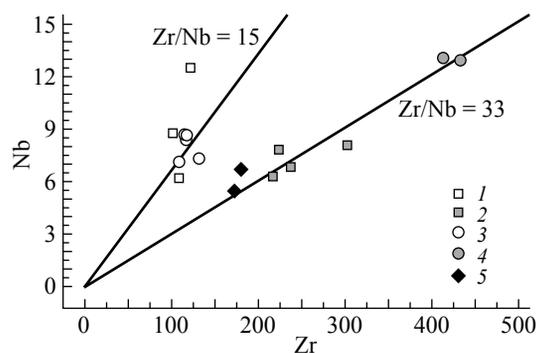


Рис. 2. Распределение Zr, Nb в обсидианах и вулканических породах оз. Красное. 1 – лавы и экструзивные тела гиалориолитов; 2 – игнимбриты, туфы риолитов и риодацитов; 3, 4 – обсидианы высокоглинозёмистого (3) и субщелочного (4) составов; 5 – андезиты, дациты краснореченской свиты (данные авторов).

Таблица 2. Результаты микронзондового определения химического состава (мас.%) стекла основной массы в гиалориолитах и обсидианах оз. Красное

Компонент	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	K ₂ O ₅	S	Сумма
АВ-72 1	72,22	0,00	12,59	0,79	0,00	0,05	0,42	3,91	4,45	0,06	0,16	94,64
АВ-72* 2	76,33	0,00	13,30	0,83	0,00	0,04	0,44	4,13	4,70	0,06	0,17	100,00
АВ-74/5 3	74,16	0,08	12,00	0,45	0,04	0,06	0,35	3,28	5,31	0,07	0,03	95,83
АВ-74/5* 4	77,41	0,08	12,52	0,47	0,04	0,06	0,36	3,42	5,54	0,07	0,03	100,00
АВ-75/2 5	77,05	0,04	12,53	0,68	0,01	0,05	0,39	4,05	4,89	0,11	0,05	99,89
АВ-75/4 6	76,93	0,06	12,35	0,81	0,02	0,03	0,41	4,01	4,90	0,10	0,07	99,69
АВ-75/1щ 7	77,08	0,10	11,67	1,30	0,04	0,04	0,11	4,31	4,79	0,10	0,04	99,59
АВ75/3щ 8	77,01	0,14	11,97	1,34	0,00	0,08	0,23	4,33	4,70	0,13	0,00	99,93

Примечание. 1–4 – гиалориолиты (* – в пересчёте на сухой остаток); 5, 6 – высокоглинозёмистые обсидианы; 7–8 – субщелочные обсидианы. Анализ проводили в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8100 (аналитик Е.А. Ноздрчев).

Таблица 3. Результаты К–Аг-датирования образцов обсидиана и игнимбрита оз. Красное

№ п.п.	Образец	Порода	К, мас. %	⁴⁰ Аг _{р.} · 10 ⁻⁵ , нмм ³ /г	Возд. Аг, %	Возраст, млн лет
1	АВ-76/3bl	Обсидиан	3,77	10,43 ± 0,03	н.д.	39,5 ± 0,9
2	АВ-74/1	Игнимбрит	3,23	8,65 ± 0,08	5,4	39,1 ± 1,2

Примечание. В обр. АВ-76/3 (вал) определение содержания радиогенного Аг проводили на масс-спектрометре МИ-1201 ИГ-методом изотопного разбавления с применением в качестве трассера ³⁸Аг (аналитик А.В. Лебедев, ИГЕМ РАН); в обр. АВ-74/1 (вал) – на масс-спектрометре МАТ-253 по оригинальной методике CF-GC-IRMS с лазерной системой плавления по [13] (аналитик С.Ю. Будницкий, ДВГИ ДВО РАН); определение К – методом пламенной спектрофотометрии; н.д. – нет данных. При расчёте возраста использованы константы: λ_К = 0,581 · 10⁻¹⁰ год⁻¹, λ_{р.} = 4,962 · 10⁻¹⁰ год⁻¹, ⁴⁰К = 0,01167 (ат.%).

геохимического изучения микроэлементного состава всех имеющихся образцов обсидианов из источника (оз. Красное) и археологических памятников, расположенных в Северо-Восточной Сибири (229 обсидиановых артефактов из 59 археологических памятников Приохотья, Колымы, Чукотки), показали, что 148 из них (~65%) изготовлены из сырья с берегов оз. Красное. В археологических памятниках орудия и отщепы, как правило, относятся к высокоглинозёмистым обсидианам и лишь единичные – к субщелочным.

Таким образом, в результате проведённого нами исследования вулканических стёкол оз. Красное впервые выявлены две геохимические разновидности обсидиана, различающиеся по химическому составу и обнаруживающие генетическую связь с разными фаціальными типами вулканических пород. Древние люди, начиная с неолита, для изготовления орудий использовали преобладающий на источнике обсидиан

высокоглинозёмистого типа. Obsидиановые орудия, выполненные из субщелочного стекла, на археологических памятниках Северо-Востока Сибири распространены крайне незначительно.

В заключение следует подчеркнуть, что установленные геохимические разновидности обсидиана оз. Красное соответствуют составу эоценовых кислых эффузивных пород Рарыткского ареала. Концентрация обсидиана в береговых отложениях обусловлена размывом различных фаціальных типов вулканических пород, содержащих корки закалки и обломки вулканического стекла.

Результаты изучения артефактов, которые всё ещё являются редкими и даже “экзотическими” объектами исследования российских геологов, позволили значительно дополнить банк геохимических данных по природным вулканическим стёклам – носителям первичной генетической информации при изучении процессов эволюции магматических расплавов.

Исследования проводили при финансовой поддержке Американского фонда гражданских исследований и развития (CRDF) (гранты №№ RG1-2538-VL-03 и RUG1-7097-NO-13; 2004–2014 гг.), Смитсоновского института (США) (грант № MCI 6328; 2009 г.) и программы повышения конкурентоспособности Томского государственного университета” (2014–2015 гг.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Наседкин В.В.* Кислый вулканизм и водосодержащие стёкла Северо-Востока СССР. М.: Наука, 1983. 103 с.
2. *Cook J.C.* // *Arct. Anthropol.* 1995. V. 32. № 1. P. 92–100.
3. *Диков Н.Н.* 1977. Археологические памятники Камчатки, Чукотки и Верхней Колымы. М.: Наука, 1977. 391 с.
4. *Yoshitani A., Slobodin S., Tomoda T., et al.* // *Proc. Archaeol. Mus. Kokugakuin Univ.* 2013. № 29. P. 1–21.
5. *Слободин С.Б.* Экология древних и традиционных обществ. Тюмень: Вектор-Бук, 2007. В. 3. С. 136–140.
6. *Федоров П.И., Филатова Н.И., Дворянкин А.И.* // *Тихоокеан. геология.* 1996. Т. 15. № 3. С. 3–13.
7. *Федоров П.И., Коваленко Д.В., Агеева О.А.* // *Геохимия.* 2011. № 8. С. 813–838.
8. *Kuzmin Y.V., Speakman R.J., Glascock M.D., et al.* // *J. Archaeol. Sci.* 2008. V. 35. P. 2179–2187.
9. *Ширинян К.Г.* // *Тр. Лаб. палеовулканологии.* 1963. В. 2. С. 200–210.
10. *Glascock M.D., Braswell E., Cobean R.H.* *Archaeological Obsidian Studies: Method and Theory.* N.Y.: Plenum Press, 1998. P. 15–65.
11. *Taylor S.R., McLennan S.M.* // *Phil. Trans. Roy. Soc. London.* 1981. V. 301. P. 381–399.
12. *Sun S.S., McDonough W.F.* // *Magmatism in Ocean Basin. Geol. Soc. London. Spec. Publ.* 42. 1989. P. 313–345.
13. *Ignat'ev A.V., Velivetskaya T.A., Budnitskii S.Yu.* // *J. Anal. Chem.* 2010. V. 65. P. 1347–1355.