——— ГЕОЛОГИЯ —

УДК 551.21/550.93(235.33)

## ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕФРОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕН-ГОЛОЦЕНОВЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ В ДОЛИНЕ р. ЖОМ-БОЛОК (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)

А. А. Щетников<sup>1,2,\*</sup>, Е. В. Безрукова<sup>4</sup>, Е. В. Кербер<sup>2</sup>, О. Ю. Белозерова<sup>2</sup>, академик РАН М. И. Кузьмин<sup>2</sup>, Е. В. Иванов<sup>2</sup>, М. А. Крайнов<sup>2</sup>, И. А. Филинов<sup>1,2,3</sup>, И.О. Нечаев<sup>3</sup>

Поступило 04.04.2017 г.

Представлены первые результаты тефрохронологических исследований позднеплейстоцен-голоценовых вулканических извержений в долине р. Жом-Болок (Восточный Саян). На основе анализа донных отложений ледникового оз. Каскадное-1 разработана детальная хронологическая шкала вулканической активности в данном районе. Установлено, что извержения начались как минимум 14 300 л.н. и продолжались, постепенно ослабевая, до 6280 л.н. В этот период фиксируется 10 групп пиков обогащения микротефрой осадков озера Каскадное-1. Средний интервал между этапами извержений в это время составляет около 500–600 лет. Между 14 300 и 13 400 л.н. происходили наиболее масштабные вулканические события, извержения практически не прерывались, а эксплозивная деятельность характеризовалась максимальной формой развития. В интервале между 6280 и 2000 л.н. в вулканической активности района наступает период относительного покоя. Позднее извержения возобновляются, достигая пиковых значений 1150 л.н., и завершаются 800 л.н.

Ключевые слова: тефрохронология, голоценовый вулканизм, Восточный Саян.

DOI: https://doi.org/10.31857/S0869-56524863336-340

Жом-Болокское вулканическое поле расположено в одном из главных орогидрографических узлов горной системы Восточного Саяна с альпинотипными чертами рельефа и абсолютными высотами более 3100 м. Мощные потоки трахибазальтовых лав гавайитового типа занимают днище троговой долины р. Жом-Болок на всём её 70-километровом протяжении, а вулканические шлаковые конусы в верховьях долины фиксируют главный центр извержений. К настоящему времени получены подробные сведения о строении, составе, источниках и механизме долинных излияний лавовых потоков [1-5]. При этом до сих пор не удалось надёжно реконструировать их хронологическую последовательность. Известно лишь, что вулканические события были многофазными [1], начались на рубеже плейстоцена

<sup>1</sup>Институт земной коры Сибирского отделения Российской Академии наук, Иркутск

2Институт геохимии им. А.П.Виноградова

и голоцена и продолжались до последнего тысячелетия [5, 6].

Решение проблемы датирования молодых вулканических комплексов Жом-Болока возможно на основе изучения природных архивов, хранящих непрерывную историю извержений. Лучшим образом для этого подходят осадочные летописи озёрных водоёмов и торфяников. Вблизи главного центра вулканических извержений Жом-Болокского района присутствуют разнообразные по условиям формирования и функционирования озёрные морфолитосистемы [7, 8], в том числе оз. Каскадное-1 (рис. 1), которое нами и было выбрано в качестве начального объекта тефрохронологических исследований.

Водоём имеет гляциальное происхождение, возник в ходе таяния и отступания ледников в данном районе одним из первых. Последнее важное обстоятельство обеспечило возможность регистрации в осадках оз. Каскадное-1 сигналов местной вулканической деятельности с самых ранних её этапов.

В 2015 г. во время экспедиционных работ в долине р. Жом-Болок нами было проведено детальное исследование рельефа дна водоёма и составлена его

Сибирского отделения Российской Академии наук, Иркутск

<sup>3</sup>Иркутский государственный университет

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup>*Тюменский индустриальный университет* 

<sup>\*</sup>E-mail: shch@crust.irk.ru



**Рис. 1.** Эпицентр долинных излияний лавовых потоков Жом-Болок – верховья пади Хи-Гол (а) и батиметрическая схема котловины оз. Каскадное-1 (б). Основа рисунка – космический снимок Landsat. Стрелкой показано направление движения лавовых потоков.

батиметрическая схема. Отбор донных отложений проводился гравитационным керноотборным устройством UWITEC (Австрия) диаметром ПВХ-лайнера 63 мм. Длина полученного керна составила 150 см.

На основе стандартных методик тефростратиграфических исследований субаквальных отложений [9–11] был исследован каждый сантиметр керна. На анализы отбиралось 0,2 г сублимированного осадка. В микропрепаратах покровное стекло крепилось к предметному с помощью канадского бальзама. Подсчёт частиц вулканического стекла проводился на поляризационном микроскопе на площади 2 см<sup>2</sup>, при этом учитывались обломки размером от 10 до 100 мкм.

Возрастная модель отложений построена на основе результатов радиоуглеродного датирования отложений (табл. 1). Практически прямолинейный характер возрастной модели (рис. 2а) свидетельствует о непрерывности процесса осадконакопления в озере.

№ образца	Глубина отбора (см)	Средняя глубина отбора (см)	<sup>14</sup> С-возраст (лет назад)	Калиброванный возраст (кал. лет назад)
Cascad_1	11–12	11,5	2070±30	2040±45
Cascad_2	67–68	67,5	$7060 \pm 50$	$7890 \pm 50$
Cascad_3	91-92	91,5	8960±50	10 060±98
Cascad_4	113–114	113,5	9820±60	11 250±68
Cascad_5	128-129	128,5	11 160±60	13 000±78
Cascad_6	142-143	142,5	11 820±70	13 660±74
Cascad_7	149-150	149,5	12 310±70	14 290±162

Таблица 1. Результаты AMS<sup>14</sup>C-датирования отложений оз. Каскадное-1

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК том 486 № 3 2019



**Рис. 2.** Возрастная модель формирования донных отложений оз. Каскадное-1 (а) (для калибровки дат использовалась программа Oxcal [12] и метод P\_Sequence для автоматической оценки параметра k [13]) и их тефрохронологическая и литологическая характеристики (б). 1 — биогенно-терригенный ил с диатомовыми водорослями; 2 – алевритовая голубая глина отложений приледникового озера; 3 – точки отбора проб на AMS C14 датирование.

За реперное событие было принято извержение, произошедшее 6280 л.н., с которым соотносится формирование крупного лавово-подпрудного озера Хара-Нур в современном его облике [7, 8]. В это время в осадки оз. Каскадное-1 поступает значительное количество пирокластического материала (рис. 2б). Пик его содержания в изученных образцах был принят нами в качестве минимального порогового сигнала, фиксирующего вулканическое извержение в долине р. Жом-Болок. Более низкие содержания частиц микротефры были отнесены к фоновым значениям и исключены из статистического анализа, поскольку часть пирокласта должна была поступать в озеро после пеплопадов за счёт площадного смыва в водосборном бассейне, создавая общее "загрязнение" озёрных отложений вулканическим материалом.

Из всех тефросодержащих горизонтов были отобраны образцы микрочастиц вулканического материала, представленного преимущественно угловатыми и полуокатанными зёрнами вулканического стекла размером от 10 до 100 мкм, от светло-коричневого до почти бесцветного и тёмно-коричневого цвета. В микропрепаратах присутствовали как чистые стёкла без включений, так и стёкла с включениями тонкозернистых минералов двух типов: стёкла с пылеватыми включениями тонкозернистых минералов, стекловидная масса со слабо проявленной раскристаллизацией, включающей микрозёрна кварца, плагиоклаза, оливина, пироксена и пылеватые включения рудного материала. Зёрна кристаллических минералов представлены оливином и пироксеном, плагиоклазом и кварцем.

Исследование силикатных минералов вулканических стёкол с целью изучения их состава проведено методом рентгеноспектрального электронно-зондового микроанализа (PCMA) в Центре коллективного пользования изотопно-геохимических исследований на микроанализаторе Superprobe JXA-8200 ("JEOL Ltd", Япония). По данным PCMA установлено, что основу всех анализируемых зёрен формирует силикатная составляющая с содержанием основных и примесных компонентов, присутствующих в различном процентном соотношении (табл. 2). Размер фаз по образцам изменяется от 10 до 200 мкм и более. Минеральная составляющая этих фаз представлена кварцем, амфиболами, пироксенами, полевыми шпатами, плагиоклазами. Яркие частицы

Петрогенные окислы	Среднее значение по вулканическому полю, мас.%, по [1]	Среднее значение по вулканическому полю, мас.%, по [6]	Микротефра донных отложений оз. Каскадное-1, среднее значение, мас.%
SiO <sub>2</sub>	48,5	48,5	48,2
TiO <sub>2</sub>	2,3	2,3	0,8
$Al_2O_3$	15,1	14,7	7,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3 общ.</sub>	11,6	10,6	16,1
MnO	0,1	0,14	0,3
MgO	8	8,5	12,4
CaO	8,1	8,2	11,6
Na <sub>2</sub> O	4,3	4	0,9
K <sub>2</sub> O	1,8	1,9	0,4
$P_2O_5$	0,5	0,55	0,0
Всего	100.2	100.1	96,1

**Таблица 2.** Содержание петрогенных окислов в вулканических комплексах Жом-Болока и викротефре донных отложений оз. Каскадное-1, по данным РСМА

выражены минералами с большим содержанием оксидов кальция и титана, в некоторых из них определены большие содержания оксида железа. Обращает на себя внимание установленное методом PCMA низкое содержание щелочей (Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O) в микрочастицах вулканического стекла (табл. 2) в сравнение с базальтами лавовых потоков, которые были исследованы ранее методом силикатного анализа. Возможной причиной такого расхождения результатов может быть использование различных методов в определении содержания петрогенных окислов.

В результате исследований непрерывного разреза озерных отложений впервые была установлена хронология вулканической активности в долине р. Жом-Болок. Извержения начались как минимум в финальную стадию дегляциации 14 300 л.н. и продолжались с небольшими перерывами, постепенно ослабевая, до 6280 л.н. В этот период фиксируется 10 групп пиков обогащения микротефрой осадков озера Каскадное-1. Средний интервал между этапами извержений в это время составлял около 500–600 лет.

Важным результатом является установление временного периода от 14 300 до 13 400 л.н., когда происходили наиболее масштабные вулканические события, а эксплозивная деятельность характеризовалась максимальной формой развития. В период 6280—2000 л.н. в вулканической активности района наступает период относительного покоя. Позднее извержения возобновляются, достигая пиковых значений 1150 л.н., и завершаются 800 л.н.

Таким образом, создана первая детальная хронологическая шкала вулканической активности в пределах уникального Жом-Болокского района голоценового вулканизма. Эта шкала может рассматриваться в качестве основы для межрегиональных корреляций вулканических событий и их сравнения с известными палеоклиматическими записями для понимания возможного влияния вулканической деятельности на изменения региональной и глобальной климатической системы.

**Благодарности.** Авторы благодарят руководителя Археологического проекта Байкал—Хоккайдо профессора А. Вебера (Канада) за возможность приобретения буровой установки.

Источник финансирования. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 16–17–10079 (геохимический анализ отложений), гранта Правительства РФ № 075-15-2019-866 и государственного задания № 0350-2016-0026.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Ярмолюк В.В., Никофоров А.В., Иванов В.Г.* // Вулканология и сейсмология. 2003. № 5. С. 41–59.
- 2. Адамович А.Ф., Гросвальд М.Г., Зоненшайн Л.П. // Тр. Всесоюз. аэрогеол. треста. 1959 г. В. 5. С. 79–89.
- Гросвальд М. Г. Развитие рельефа Саяно-Тувинского нагорья (оледенение, вулканизм, неотектоника). М.: Наука, 1965. 166 с.
- Киселев А.И., Медведев М.Е., Головко Г.А. Вулканизм Байкальской рифтовой зоны и проблемы магмообразования. Новосибирск: Наука, 1979. 197 с.
- Ivanov A.V., Arzhannikov S.G., Demonterova E.I., et al. // Bull. Volcanol. 2011. V. 73. P. 1279–294.

ЩЕТНИКОВ и др.

- 6. Аржанников С.Г., Иванов А.В., Аржанникова А.В., и др. // Геология и геофизика. 2017. № 1. С. 27-47.
- 7. Безрукова Е.В., Щетников А.А., Кузьмин М.И. и др. // ДАН, 2016. Т. 468. № 3. С. 323–27.
- Шетников А.А., Безрукова Е.В., Филинов И.А. и др. // География и природные ресурсы. 2016. № 3. С. 37–48.
- Rose N.L., Golding P.E., Battarbee R.W. // Holocene. 1996. V. 6. P. 243–246.
- Turney C.S.M. // J. Paleolimnology. 1998. V. 19. P. 199– 206.
- Blockley, S.P.E., Pyne-O'Donnell, S.D.F., Lowe, J.J. // Quatern. Sci. Rev. 2005. V. 24. P. 1952– 1960.
- Bronk Ramsey C. // Quatern. Sci. Rev. 2008. V. 27 (1–2). P. 42–60.
- 13. *Bronk Ramsey C., Lee S.* // Radiocarbon. 2013. V. 5 (2–3). P. 720–730.

## THE FIRST RESULTS OF TEPHROCHRONOLOGICAL INVESTIGATIONS OF THE LATE PLEISTOCENE-HOLOCENE VOLCANIC EXPLOSIONS IN THE VALLEY OF THE ZHOM-BOLOK RIVER (EASTERN SAYAN)

A. A. Shchetnikov<sup>1,2,3</sup>, E. V. Bezrukova<sup>4</sup>, E. V. Kerber<sup>2</sup>, O. Yu. Belozerova<sup>2</sup>, Academician of the RAS M.I. Kuz'min<sup>2</sup>, E. V. Ivanov<sup>2</sup>, M. A. Krainov<sup>2</sup>, I. A. Filinov<sup>1,2,3</sup>, I. O. Nechaev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of the Earth's Crust of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation

<sup>2</sup>A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry of the Siberian Branch Of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation

<sup>3</sup>Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

<sup>4</sup>Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation

## Received April 04, 2017

This article presents first tephrochronological data on the volcanic activity in the valley of the Jom-Bolok River (East Sayan Mountains, Siberia), which is the largest manifestation of the Holocene eruptions in Central Asia. The data results from our study of the proglacial Kaskadnoe-1 Lake situated near the Jom-Bolok basalt field. The lake sediments include a series of tephra-rich layers. Radiocarbon dating of the lake sediments provided a robust age model which allowed us to build timing of eruptions formed the Jom-Bolok volcanic field. We recognize two large phases of volcanism separated by almost 5 thousand years dormant phase. The first phase is traced back to ca. 14.3 cal ka BP and lasted until 6.3 cal ka BP. Ten clusters of microtephra layers in the sediments of the first phase show 300–800 years recurrence of the volcanic events weakening upward. The event of 14.3–13.3 cal ka BP probably represents the strongest eruptions of the Jom-Bolok. The second phase started ca. 1.6 cal ka BP and highly likely continues in our days. Its strongest eruptions occurred between 1.6 and 0.8 cal ka BP with periodicity of 200 years. This tephrostratigraphy shows a multiplicity of the Jom-Bolok volcanic events and amplifies the earlier built scheme resulted from investigations of the stratified basalts, pyroclasts and lake damming events.

Keywords: tephrochronology, Holocene volcanic activity, East Sayan Mts.