

Яр Девичий (Центральная Камчатская депрессия): окно в историю эксплозивного вулканизма и изменений природной среды Камчатки за последние 200 тысяч лет
Пономарева В.В.¹, Дирксен О.В.¹, Зеленин Е.А.², Портнягин М.В.³, Базанова Л.И.¹, Бубенщикова Н.В.⁴, Горбаренко С.А.⁵, Горбач Н.В.¹, Деркачев А.Н.⁵, Овсянников Г.Н.⁶, Rogozin A.N.¹

Devichii bluff (Central Kamchatka Depression): a window into the history of explosive volcanism and environmental change over the past 200 ka

Ponomareva V.V., Dirksen O.V., Zelenin E.A., Portnyagin M.V., Bazanova L.I., Bubenshchikova N.V., Gorbarenko S.A., Gorbach N.V., Derkachev A.N., Ovsyannikov G.N., Rogozin A.N.

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский; e-mail: ponomareva@kscnet.ru*

² *Геологический институт РАН, г. Москва*

³ *GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, г. Киль, Германия*

⁴ *Институт океанологии РАН, г. Москва*

⁵ *Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, г. Владивосток*

⁶ *Геологический факультет МГУ, г. Москва*

Целью наших тефрохронологических исследований в Центральной Камчатской депрессии является реконструкция хронологии сильных эксплозивных извержений и природных изменений на Камчатке за последние ~330 тысяч лет. В данной работе мы представляем результаты изучения горизонтов тефры, захороненных в отложениях возрастом ≤ 200 тыс. лет, вскрытых в яре Девичьем.

Хронология эксплозивного вулканизма Камчатки за последние сотни тысяч лет до сих пор восстановлена лишь частично. Детальным реконструкциям режима эксплозивной активности за пределами возможностей радиоуглеродного метода (>50 тыс. лет) препятствуют как сложная стратиграфия проксимальных пирокластических отложений, частично уничтоженных эрозией, так и трудности в оценке их возраста. Отсутствие надежной хронологии крупных эксплозивных извержений не позволяет рассматривать вопросы соотношения периодов повышенной вулканической активности с климатическими изменениями или с тектоническими событиями, и в конечном итоге препятствует пониманию причин вулканических активизаций. Большой прогресс в изучении хронологии средне-позднеплейстоценовых эксплозивных извержений был достигнут в результате изучения непрерывных последовательностей горизонтов тефры в морских и озерных осадочных колонках, для которых разработаны возрастные модели. Одним из примеров подобных исследований может служить изучение колонок морских отложений в СЗ части Тихого океана, в результате которого удалось реконструировать хронологию крупнейших пеплопадов в этом районе за последние 6.2 млн лет и идентифицировать вулканы-источники для некоторых пеплов [6, 9].

В последние годы мы ведем исследования горизонтов тефры в осадках Центральной Камчатской депрессии (ЦКД). Эти отложения описывались многими авторами, начиная с 1940 г., однако их возраст остается предметом дискуссий [1-5]. Оказалось, что геохимические исследования тефры из осадков ЦКД дают возможность коррелировать ее горизонты как между соседними разрезами, так и с пеплами из других районов Камчатки, а также из изученных ранее морских осадочных колонок. Сопоставление стратиграфических последовательностей пеплов из разных разрезов позволяет уточнить общую хронологию эксплозивных извержений и вписать в нее другие отложения, указывающие на крупные изменения природной обстановки. В данной работе мы рассмотрим одно из изученных нами обнажений – это яр Девичий (правый борт р. Камчатка) (рисунок).



Рисунок. Общий вид и детали обнажения яра Девичий. а – общий вид обрыва высотой около 80 м. М – моренные отложения. Желтый прямоугольник показывает положение двух человек на склоне; б – отложения средней части обнажения (выше моренных) с частыми горизонтами пеплов. Посередине справа – фигура человека для масштаба; в – толщина моренных отложений, положение двух горизонтов тефры отмечено желтыми кружками.

В отложениях ЦКД описано пять главных пачек [1, 2]. Это снизу вверх: (1) озерные «синие глины», (2) аллювиальные «косослоистые пески», (3) моренные отложения, (4) аллювиальные межледниковые отложения, 5) покровные супеси. Обнажение яра Девичьего (54.9628°с.ш., 158.9889°в.д.) вскрывает четыре из них, кроме самой нижней толщи «синих глин», которая здесь замещается горизонтом гравия [1]. Нам удалось отобрать образцы тефры из всех толщ яра Девичьего, включая переотложенную водным потоком пемзу из «косослоистых песков», образцы из двух горизонтов тефры в моренных отложениях (рисунок, в) и 43 образца тефры из толщи покровных супесей (рисунок, б). Геохимические исследования частиц стекловидной тефры с определением содержаний главных и рассеянных элементов были проведены с использованием электронного микрозонда и масс-спектрометрии индукционно-связанной плазмы с лазерной абляцией (LA-ICP-MS) в Гельмгольц Центре исследования океана ГЕОМАР и Университете г. Киль (Германия). Для установления корреляций между разрезами и оценки возраста горизонтов тефры полученные данные были сопоставлены с нашими данными о составе пирокластике вулканов Камчатки и пеплов из морских осадочных колонок [6, 9, 10].

Обильный пемзовый гравий в «косослоистых песках» по составу стекловидной тефры отвечает преимущественно пирокластике Срединного хребта и больше всего

напоминает ряд тефры из толщи «синих глин» [5], которая в этом яру не вскрыта, но залегает ниже толщи «косослоистых песков» в других обнажениях [1].

Обе тефры в моренных отложениях нашли свои аналоги в других разрезах, что позволяет оценить возраст морены (таблица). Нижняя тефра отвечает по составу широко распространенной в ЦКД тефре вулкана Хангар возрастом ~170 тыс. лет [5]. Верхняя тефра в морене отвечает по составу мощной пирокластике в основании разреза на р. Узон, а также тефре, обнаруженной в осадочной колонке LV76-18-1 на подводной г. Тендзи (Императорский подводный хребет). Согласно возрастной модели этой колонки, возраст тефры, залегающей на глубине 584 см, составляет ~210 тыс. лет [7]. Таким образом, в морене залегают пеплы возрастом примерно 210 и 170 тыс. лет, что дает представление о времени максимального выдвигания ледников в ЦКД. Наши данные подтверждают представление О.А. Брайцевой и др. [1] о среднеплейстоценовом возрасте этих моренных отложений и говорят о том, что оледенение было приурочено к морской изотопной стадии (МИС) 6 и второй половине МИС 7. Такая оценка возраста морены также соответствует ее положению выше толщи «синих глин», для кровли которой нами были ранее получены оценки около 300 тыс. лет [5]. Наличие стратификации и инверсия стратиграфического положения пеплов вполне допустимы в конечно-моренном комплексе, однако отложение морены в ЦКД в середине теплой МИС 7 (243-191 тыс. л.н.) – это неожиданный результат. В то же время, некоторые исследования указывают на то, что изменения ледовых условий в СВ Азии происходили не синхронно с таковыми в Северной Атлантике, в частности, последний максимум оледенения здесь имел место на 20 тыс. лет раньше, чем глобальный LGM [например, 8]. Возможно, аналогичная асинхронность была проявлена и во время предыдущего оледенения. Тем не менее, для уверенного подтверждения возраста ледников МИС 7-6 на Камчатке нам потребуются дополнительные исследования.

Таблица. Пеплы яра Девичьего (сверху вниз), для которых найдены аналоги в море и на суше

Номер образца	Источник	Корреляции с другими разрезами (номер осадочной колонки)	Возраст тефры (тысяч лет)
KRT-14	Восточная зона	оз. Кроноцкое, р. Андриановка	30-40
KRT-11	кальдера Узон	Долина Гейзеров, оз. Кроноцкое, р-н г. Лызык	40-50
KRT-6, -7	Восточная зона	р. Андриановка	70
KRT-5	влк. Шивелуч	р. Андриановка, оз. Кроноцкое, влк. Шивелуч	70-74
K16-7-1-3	Восточная зона	р. Андриановка, Охотское море (MD01-2415)	144
202306-6	Восточная зона	р. Андриановка, Охотское море (MD01-2415)	173
202306-11	влк. Шивелуч	Берингово море (SO201-2-81, -85)	163
202307-8	влк. Горелый	Тихий океан, г. Детройт (MD01-2416; ODP145-884B)	158-170
KRT2-4T	кальдера Узон	р. Узон; Тихий океан, г. Тендзи (Lv76-18)	210
KRT2-3T	влк. Хангар	яры по р. Камчатка, р. Андриановка, Ветловая	170

Вышеописанные корреляции позволяют также выявить крупное эксплозивное извержение в пределах кальдеры Узон и оценить его возраст примерно в 210 тыс. лет.

В покровных супесях, залегающих над моренными отложениями Девичьего яра, обнаружены тефры возрастом в интервале 170-30 тыс. лет (таблица). Инверсии в оценках возраста этих пеплов отражают неточности возрастных моделей различных осадочных колонок или различные методы оценки возраста наземных отложений. Сопоставление последовательностей горизонтов пеплов из всех яров среднего течения р. Камчатка и ее притоков позволят преодолеть разночтения и выстроить единую хронологию извержений.

Экспедиционные исследования и геохимическое изучение тефры проведены при поддержке проектов РФФ № 21-77-10102, руководитель Е.А. Зеленин (<https://rscf.ru/project/21-77-10102/>) и № 22-17-00074, руководитель В.В. Пономарева (<https://rscf.ru/project/22-17-00074/>). Материал для исследования пеплов в морских осадочных колонках был получен в рамках Госзадания по теме № 124022100084-8 Минобрнауки РФ; обработка данных выполнена при поддержке гранта РФФ № 22-17-00118, руководитель С.А. Горбаренко (<https://rscf.ru/project/22-17-00118/>).

Список литературы

1. *Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Евтеева И.С., Лупкина Е.Г.* Стратиграфия четвертичных отложений и оледенения Камчатки / Отв. ред. В.Н. Олюнин. Москва: Наука, 1968. 227 с.
2. *Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Сулержицкий Л.Д.* Новые данные о возрасте плейстоценовых отложений Центральной Камчатской депрессии // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2005. Т. 13. № 1. С. 121-130.
3. *Куприна Н.П.* Стратиграфия и история осадконакопления плейстоценовых отложений Центральной Камчатки // Труды ГИН АН СССР. Вып. 216. М.: Наука, 1970. 148 с.
4. *Певзнер М.М., Яшина О.В., Смышляева О.И. и др.* Опорные разрезы рыхлых отложений позднего-среднего плейстоцена Камчатки: современное состояние, проблема возраста и перспективы изучения // Литология и полезные ископаемые. 2019. № 1. С. 60-89. <https://doi.org/10.31857/S0024-497X2019160-89>
5. *Пономарева В.В., Портнягин М.В., Зеленин Е.А. и др.* Плейстоценовые озерные отложения Камчатки как богатейший природный архив данных об эксплозивной вулканической активности в последние ~300 тысяч лет // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXV Всероссийской научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 30-31 марта 2022 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2022. С. 70-73.
6. *Derkachev A.N., Nikolaeva N.A., Gorbarenko S.A. et al.* Tephra layers in the Quaternary deposits of the Sea of Okhotsk: Distribution, composition, age and volcanic sources // Quaternary International. 2016. V. 425. P. 248-272. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.07.004>
7. *Gorbarenko S.A., Shi X., Liu Y. et al.* Iceberg discharge events in the northwest Pacific and related sequence of Kamchatka glaciations over the last 190 kyr // Quaternary Science Reviews. 2022. V. 278. Art. 107349. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107349>
8. *McCarron A.P., Bigg G.R., Brooks H. et al.* Northwest Pacific ice-rafted debris at 38°N reveals episodic ice-sheet change in late Quaternary Northeast Siberia // Earth and Planetary Science Letters. 2021. V. 553. Art. 116650. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116650>
9. *Ponomareva V., Portnyagin M., Bubenshchikova N. et al.* A 6.2 Ma-long record of major explosive eruptions from the NW Pacific volcanic arcs based on the offshore tephra sequences on the northern tip of the Emperor Seamount Chain // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2023. V. 24. Art. e2023GC011126. <https://doi.org/10.1029/2023GC011126>
10. *Portnyagin M.V., Ponomareva V.V., Zelenin E.A. et al.* TephraKam: geochemical database of glass compositions in tephra and welded tuffs from the Kamchatka volcanic arc (northwestern Pacific) // Earth System Science Data. 2020. V. 12(1). P. 469-486. <https://doi.org/10.5194/essd-12-469-2020>