

Пирокластические отложения к северу от кальдеры Узон как свидетельство крупнейших эксплозивных извержений за последние 220 тыс. лет

**Пономарева В.В.¹, Горбач Н.В.¹, Портнягин М.В.², Rogozin A.N.¹,
Бубеничкова Н.В.³, Зеленин Е.А.^{1,4}, Базанова Л.И.¹, Дирксен О.В.¹**

Pyroclastic deposits north of Uzon caldera as a record of the largest explosive eruptions during the past ~220 ka

Ponomareva V.V., Gorbach N.V., Portnyagin M.V., Rogozin A.N., Bubenshchikova N.V., Zelenin E.A., Bazanova L.I., Dirksen O.V.

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

² GEOMAR Helmholtz Center for Ocean Research Kiel, г. Киль, Германия

³ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

⁴ Геологический институт РАН, г. Москва

Исследования пирокластических отложений района Узон – Кроноцкое озеро позволили восстановить историю крупнейших эксплозивных извержений в этой области за последние ~220 тысяч лет. Датирование извержений проведено с помощью идентификации их пеплов в ранее датированных морских осадочных колонках и в разрезах Центральной Камчатской депрессии.

Стратиграфические и геохимические исследования пирокластических отложений, залегающих как вблизи от центров извержений, так и на удалении в тысячи километров, позволяют реконструировать историю эксплозивной активности и параметры прошлых эксплозивных извержений. Наиболее полные летописи эксплозивного вулканизма сохраняются в виде горизонтов тефры, захороненных в глубоководных морских осадках, мало подверженных эрозии. Для морских осадков разработаны детальные возрастные модели, позволяющие оценить возрасты заключенных в них пеплов [5]. Однако, изучение удаленных пеплов не позволяет установить вулканы-источники тефры. Пирокластические же толщи вблизи вулканов указывают на источник извержения, но их сложнее изучать в связи с их труднодоступностью и подверженностью эрозии. Кроме того, пирокластику вулканов Камчатки трудно датировать изотопными методами из-за редкой встречаемости пригодных для этого минералов. Поэтому для реконструкции летописи эксплозивной активности вулканов Камчатки целесообразно проводить комплексные исследования как проксимальной пирокластики, так и удаленных пеплов из морских осадков.

Обрывы в долине р. Узон вскрывают сложно устроенные толщи пирокластических отложений, главными из которых являются два горизонта игнимбритов и мощный горизонт стратифицированной пемзы между ними (рис. 1а, б). Верхний игнимбрит и пемза подстилаются прослоями черных почв. Между главными горизонтами залегают ряд тефр разной мощности (рис. 1в). Верхняя часть разреза в этом обрыве не вскрыта (рис. 1а), но как верхние игнимбриты, так и перекрывающие их горизонты тефры обнажаются в обрывах по юго-западному берегу Кроноцкого озера (рис. 1а, врезка). Плейстоценовые тефры во всех разрезах по мощности, как правило, превосходят тефры, выпадавшие в этом районе за последние 10 тысяч лет.

Химический анализ стекол из пирокластики района, полученный с помощью электронного микронзонда и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и лазерной абляцией, позволил определить вулканы-источники ряда горизонтов пирокластики и скоррелировать их с удаленными пеплами в разрезах Центральной Камчатской депрессии (ЦКД) и в осадочных колонках в Охотском море и Тихом океане (рис. 2б). Эти корреляции позволили составить схематический сводный разрез пирокластики района и определить возраст ключевых горизонтов (рис. 2а).

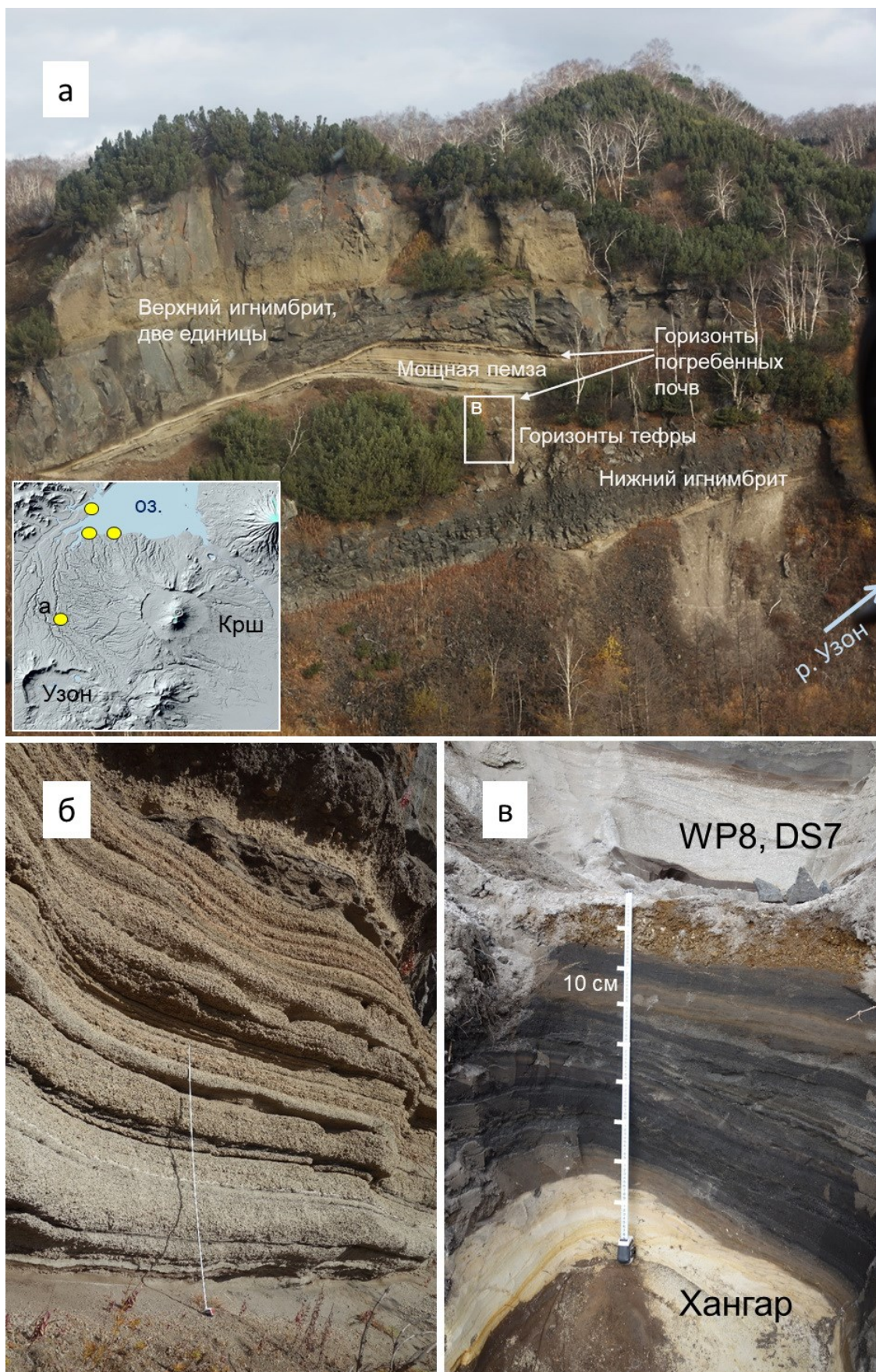


Рис. 1. Обнажение пирокластических отложений в левом борту р. Узон (а). На врезке показано положение всех изученных разрезов пирокластике. Последовательность отложений сверху вниз: верхний игнимбрит, горизонт стратифицированной пемзы мощностью ~4 м (б), переслаивание горизонтов дацитовых и андезито-базальтовых тефр (в), и нижний игнимбрит (а).

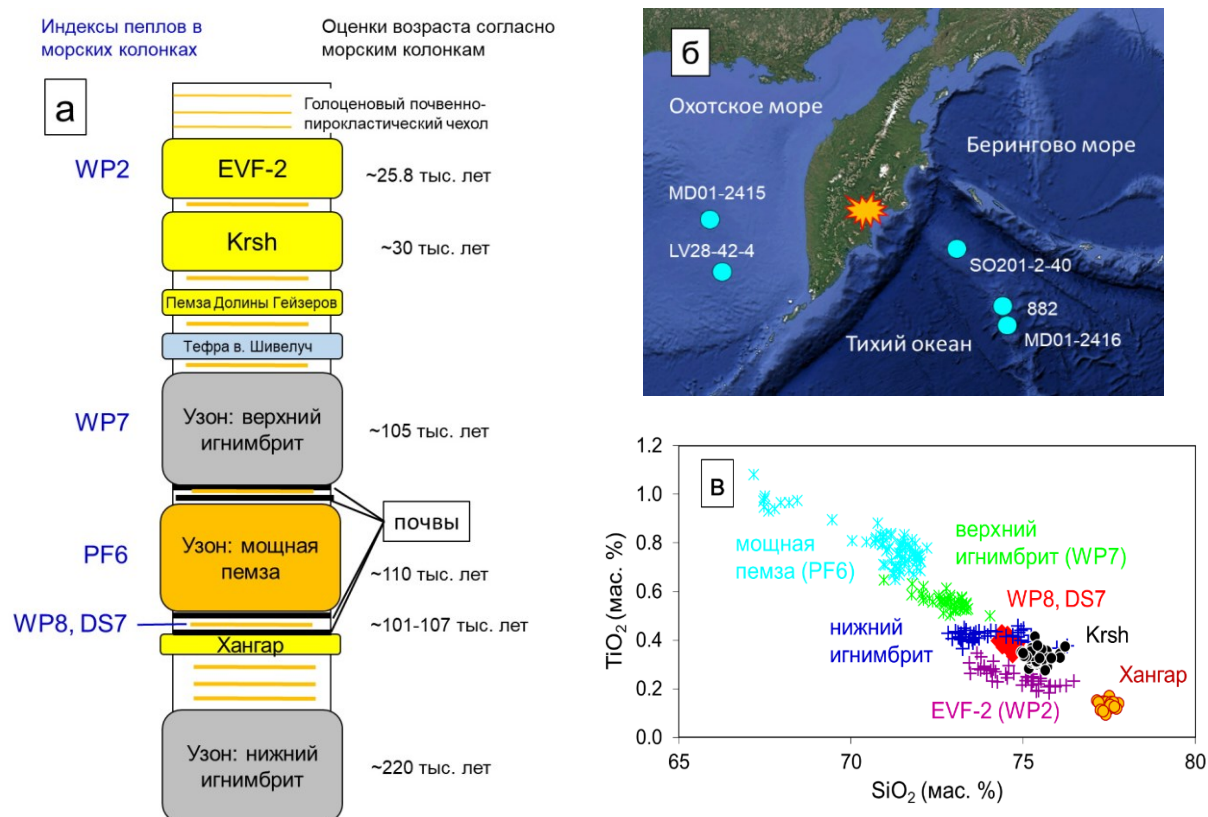


Рис. 2. Схематический сводный разрез основных горизонтов пирокластики в разрезах между кальдерой Узон и Кроноцким озером (а), положение использованных морских колонок (б) и систематика стекол главных идентифицированных тефр в координатах SiO₂-TiO₂ (в).

Два горизонта игнимбритов и мощная пемза свидетельствуют о крупнейших извержениях в пределах кальдеры Узон. Первое из них произошло около 220 тысяч лет назад (тыс. л. н.). В разрезах ЦКД горизонт тефры этого извержения залегает между пеплами, коррелирующими с тефрой AL7.4 из осадочных колонок в Охотском море с возрастом 230 тыс. лет и тефрой WP16 из колонки SO201-2-40 в Тихом океане с возрастом 205-212 тыс. лет [2, 3], что позволяет оценить возраст этого извержения примерно в 220 тыс. лет. Кроме того, в обнажениях ЦКД эта тефра залегает внутри ледниковых отложений, связанных с самым дальним продвижением ледников Срединного хребта. Это говорит о том, что извержение произошло в максимум самого мощного за последние 350 тыс. лет оледенения.

Извержение, отложившее мощную пачку стратифицированной пемзы (рис. 1б), произошло около 110 тыс. л. н., что определяется положением его криптотефры в колонке MD01-2415 в Охотском море (рис. 2б). Кроме того, тефра этого извержения обнаружена в разрезе карьера Николаевка-1 вблизи г. Елизово, что позволяет оценить площадь распространения пеплопада минимум в 65 тыс. км². Извержение с образованием верхнего игнимбрита произошло ~105 тыс. л. н., что определяется возрастом его удаленной тефры, получившей код WP7 в колонке в Тихом океане [2]. Тефра этого извержения также установлена нами в разрезах ЦКД. Ранее возраст этих игнимбритов оценивался в ~40 тыс. л. н. на основании единственной радиоуглеродной даты [1]. Богатые органикой прослойки почв (рис. 2а), свидетельствующие о теплом климате, образовались примерно 110-105 тыс. л. н. и, возможно, отражают условия межледниковья.

Извержение, отложившее горизонт тефры, подстилающий мощную пемзу, произошло из неизвестного пока источника 101-107 тыс. л. н., что определяется его корреляцией с пеплами WP8 и DS7 из колонок в Тихом океане (рис. 2б) [2, 5]. Этот пепел был также обнаружен в разрезе карьера Николаевка-1, вблизи п. Вулканный. Незначительная инверсия возрастов объясняется использованием возрастных моделей

различных колонок из разных морей. В дальнейшем вся последовательность пеплов будет объединена в единую модель, в которой их возрасты будут рассчитаны с помощью Байесовского вероятностного моделирования, что позволит создать непротиворечивую летопись извержений и оценить ошибки определения возраста.

Из горизонтов пеплов, перекрывающих верхние игнимбриты, можно выделить тефру, по составу стекол близкую пемзе на подножии вулкана Шивелуч, а также тефру, аналогичную пемзовым туфам, заполняющим Долину Гейзеров. Возрасты этих горизонтов пока не установлены, но ясно, что они попадают в интервал 100-30 тыс. л. н.

Еще выше по разрезу залегают уже известные нам горизонты пирокластики: тефра извержения, приведшего к образованию кальдеры Крашенинникова ~30 тыс. л. н., и тефра EVF-2 (WP2) из неустановленного пока источника во фронтальной зоне Восточного вулканического пояса с возрастом 25.8 тыс. лет [2, 4]. Подавляющее число пеплов в разрезах района связано с вулканами Восточной вулканической зоны. Исключение составляет мощный пепел вулкана Хангар (Срединный хребет), подстилающий тефру WP8-DS7 и свидетельствующий об извержении этого вулкана несколько ранее 110 тыс. л. н. (рис. 1в, 2а, в).

Как показывают наши исследования, крупнейшие эксплозивные извержения происходили как во время оледенений (например, извержение с отложением нижнего Узонского игнимбрита и извержение Gor28 в пределах Гореловского эруптивного центра [4]), так и в межледниковья (мощная пемза и верхний игнимбрит р. Узон и подстилающий их пепел, а также тефра EVF-2 [4]). Таким образом, изменения баланса ледовых масс вряд ли могли служить спусковым крючком для начала этих крупнейших извержений, и причины вспышки активности, скорее всего, имели эндогенный характер.

Исследования выполнены по теме Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН № FWME-2024-0011 «Эволюция крупномасштабного эксплозивного вулканизма Северо-Западной Пацифики в позднем кайнозое: масштабы, периодичность, локализация, влияние на палеоэкосистемы и климат». Авторы признательны ихтиологу Г.Н. Маркевичу за содействие в проведении полевых работ.

Список литературы

1. *Braitseva O.A., Melekestsev I.V., Ponomareva V.V. et al.* Ages of calderas, large explosive craters and active volcanoes in the Kuril-Kamchatka region, Russia // *Bulletin of Volcanology*. 1995. V. 57(6). P. 383-402. <https://doi.org/10.1007/BF00300984>
2. *Derkachev A.N., Gorbarenko S.A., Ponomareva V.V. et al.* Middle to late Pleistocene record of explosive volcanic eruptions in marine sediments offshore Kamchatka (Meiji Rise, NW Pacific) // *Journal of Quaternary Science*. 2020. V. 35(1-2). P. 362-379. <https://doi.org/10.1002/jqs.3175>
3. *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>
4. *Ponomareva V., Pendea I.F., Zelenin E. et al.* The first continuous late Pleistocene tephra record from Kamchatka Peninsula (NW Pacific) and its volcanological and paleogeographic implications // *Quaternary Science Reviews*. 2021. V. 257. Art. 106838. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.106838>
5. *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>