

**Плейстоценовые озерные отложения Камчатки как богатейший природный архив данных об эксплозивной вулканической активности в последние ~300 тысяч лет**  
*Пономарева В.В.<sup>1</sup>, Портнягин М.В.<sup>2</sup>, Зеленин Е.А.<sup>3</sup>, Певзнер М.М.<sup>3</sup>, Базанова Л.И.<sup>1</sup>, Горбач Н.В.<sup>1</sup>, Дирксен О.В.<sup>1</sup>, Пинегина Т.К.<sup>1</sup>, Rogozin A.N.<sup>1</sup>*

**Pleistocene lacustrine deposits in Kamchatka as a rich natural archive of the data on explosive volcanic activity within the last ~300 ka**

*Ponomareva V.V.<sup>1</sup>, Portnyagin M.V.<sup>2</sup>, Zelenin E.A.<sup>3</sup>, Pevzner M.M.<sup>3</sup>, Bazanova L.I.<sup>1</sup>, Gorbach N.V.<sup>1</sup>, Dirksen O.V.<sup>1</sup>, Pinagina T.K.<sup>1</sup>, Rogozin A.N.<sup>1</sup>*

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

<sup>2</sup> *GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, г. Киль, Германия*

<sup>3</sup> *Геологический институт РАН, г. Москва*

Мы представляем первые результаты систематического геохимического изучения вулканических пеплов, захороненных в озерных отложениях в различных районах Камчатки. Наши исследования позволят реконструировать летопись крупных эксплозивных извержений вулканов Камчатки за последние ~300 тыс. лет, а также оценить время образования и спуска крупных озер на территории полуострова.

Плейстоценовые озерные отложения в Центральной Камчатской депрессии (ЦКД) описывались многими авторами, начиная с 1940 г, однако возраст отдельных пачек этих отложений оставался предметом дискуссий [1, 3-5]. Накапливавшиеся в течение длительных интервалов времени озерные отложения представляют интерес для вулканологов, поскольку в них присутствуют горизонты вулканических пеплов (тефры) – следы крупных эксплозивных извержений в прошлом. Эти тефры никогда ранее систематически не изучались, за исключением нескольких горизонтов в озерных отложениях р. Пахчи и одного пепла из яра Половинка, для которых еще в начале 1980-х годов было сделано минералогическое описание и получены валовые химические анализы [1, 2]. Вулканы-источники описанных пеплов установлены не были.

### **Материалы и методы**

Мы начали исследования пеплов, заключенных в озерных отложениях, с разрезов в районе пос. Ключи и Козыревск (р. Пахча). Затем наши исследования распространились на южную часть ЦКД (верхнее течение р. Камчатка, реки Китильгина, Андриановка и Ветловая). Кроме ЦКД, пеплы в озерных отложениях были обнаружены нами в районе Ажабачьего озера, а также вблизи пос. Николаевка. Нами были выполнены описания разрезов озерных отложений, отбор образцов тефры на геохимический анализ и осадка для радиоуглеродного датирования. Параллельно осуществлялся детальный отбор осадков на диатомовый и споро-пыльцевой анализы.

Геохимические исследования единичных частиц стекол из тефры с определением содержания главных и рассеянных элементов проводились с использованием электронного микрозонда и масс-спектрометрии индукционно-связанной плазмы с лазерной абляцией (LA-ICP-MS) в Гельмгольц Центре исследования океана GEOMAR и Университете г. Киль (Германия). Для установления корреляций между отдельными разрезами и датирования горизонтов тефры полученные данные были сопоставлены с ранее опубликованными нами данными о составе пирокластических продуктов вулканов Камчатки [7], а также с неопубликованными анализами из нашей базы данных. Для расчета возраста горизонтов тефры из самых молодых отложений (<40 тысяч лет) использовалось радиоуглеродное датирование и последующее Байесовское возрастное моделирование сводной летописи [6]. Возраст более древних тефр оценивался с помощью корреляции

их с пеплами из морских осадочных колонок с использованием опубликованных для них возрастных моделей.

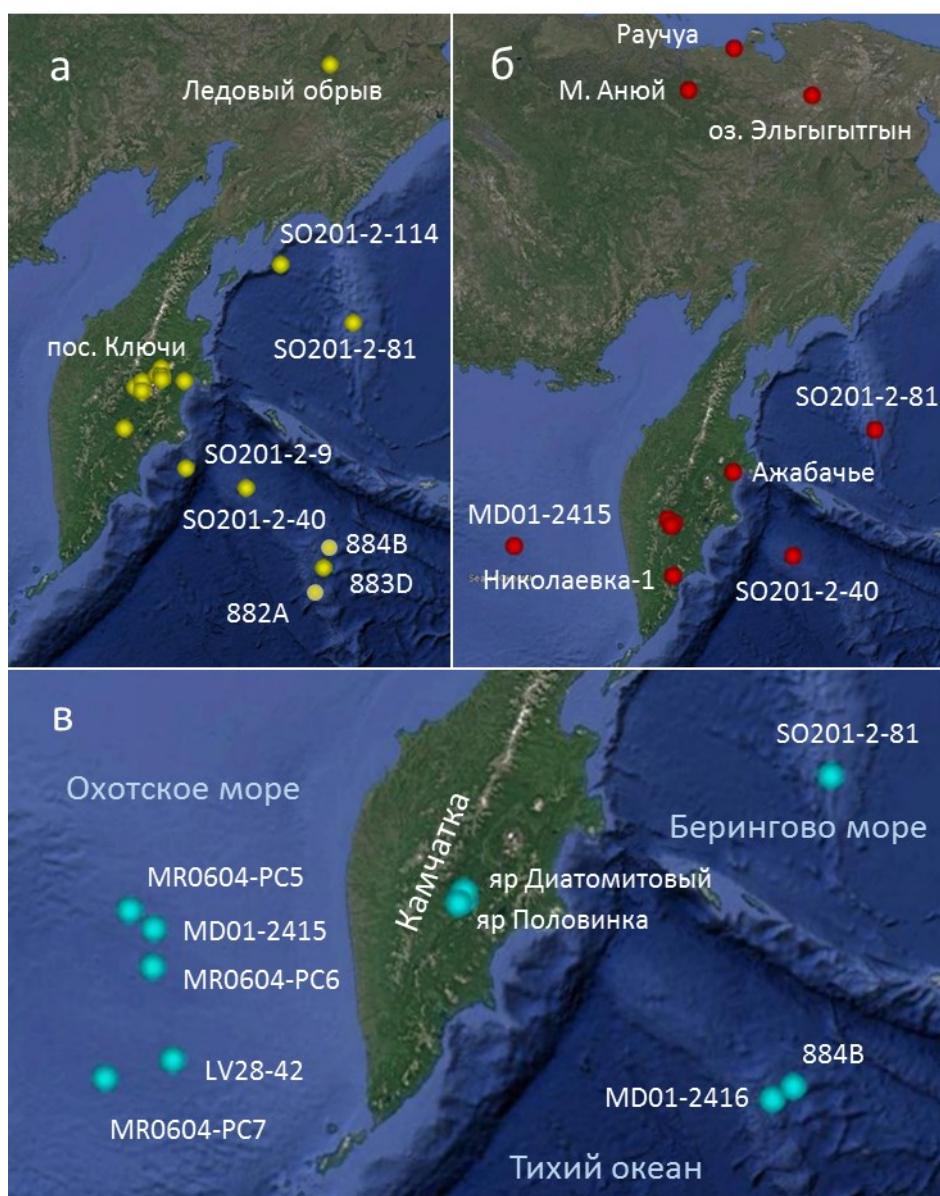


Рис. 1. Положение изученных разрезов озерных отложений и удаленных точек (морских осадочных колонок и обнажений), в которых были найдены тефры вулканов Камчатки: а – этап 12-30 тыс. лет назад [6], б – этап 30-180 тыс. лет назад, в – этап 300-320 тыс. лет назад.

### Результаты и обсуждение

В формировании изученных пачек озерных отложений можно выделить три возрастных этапа. Отложения самого молодого этапа (12-30 тысяч лет назад – далее тыс. л.н.) описаны во многих обнажениях в западной части Ключевской группы вулканов (рис. 1а). Здесь они имеют мощность от 8 до 20 м и залегают на лавах ареальной зоны, наложенной на в. Ушковский. Кроме того, отложения этого этапа были обнаружены в верхнем течении р. Камчатка и в долине р. Китильгиной (ЦКД), где они залегают на песках и галечниках, а также в районе оз. Ажабачьего. Больше всего пеплов в отложениях этого этапа обнаружено в разрезах вблизи пос. Ключи: здесь залегают как многочисленные тефры расположенных рядом вулканов Шивелуч и Заречный, так и горизонты маркирующих пеплов, связанных с крупнейшими извержениями на Южной Камчатке, в Срединном хребте и в пределах Восточной зоны.

Возраст отложений оз. Ключевского (район пос. Ключи) оценен с помощью 11 радиоуглеродных дат и возрастного моделирования, которое позволило определить возрасты заключенных в этих отложениях пеплов. Геохимические исследования пеплов позволили провести корреляции пеплов оз. Ключевского с пеплами разрезов р. Пахчи, оз. Ажабачьего, верховий рр. Камчатка и Китильгина, и таким образом, датировать эти удаленные разрезы и все заключенные в них пеплы [6]. Пик сильнейших эксплозивных извержений этого этапа пришелся на 30-25 тыс. л.н. Крупнейшее эксплозивное извержение этого времени (~28 тыс. л.н.) было связано с эруптивным центром Горелый. Его тефра обнаружена в большинстве разрезов на Камчатке, в колонках Тихого океана и далее на север в обнажении Ледовый обрыв на Чукотке (рис. 1а и 2б). Четыре других крупных извержения этого пика произошли в пределах Восточной зоны; два из них были связаны с кальдерами Крашенинникова и, предположительно, Гейзерная. Одна тефра связана с извержением в северной части Срединного хребта [6].

Отложения предшествовавшего этапа (30-180 тыс. л.н.) обнаружены в долинах рек Андриановка и Ветловая, а также в районе пос. Николаевка вблизи г. Петропавловска-Камчатского (рис. 1б). Вблизи подошвы отложений этого этапа нами обнаружена тефра Раучуа, ранее описанная в осадочных колонках северо-западной части Тихого океана и оз. Эльгыгытгын (Чукотка), а также на побережье Северного Ледовитого океана (рис. 1б). Согласно возрастной модели для осадков оз. Эльгыгытгын, тефра Раучуа имеет возраст 177 тыс. лет, что позволяет оценить время начала формирования пачки озерных отложений в ~180 тыс. лет назад. Геохимические особенности тефры позволяют связать ее с извержением в районе Карымского вулканического центра (рис. 2а, б; [7]). До наших находок эта тефра на территории Камчатки была не известна. Кроме тефры Раучуа, в разрезах по рекам Андриановке и Ветловой обнаружено не менее трех мощных пачек тефры вулканического центра Хангар. Общее количество горизонтов тефры в разрезе на р. Андриановка – более 30, ряд из них, на основании геохимического состава стекол, коррелируется с тефрами разреза Николаевка-1 вблизи Петропавловска-Камчатского (рис. 1б). Кроме того, в самой верхней части всех этих разрезов обнаружены уже известные нам тефры с возрастом ~25 тыс. лет, которые были описаны в нижней части отложений первого этапа. Таким образом, рассматривая пеплы в озерных отложениях первого и второго этапов, а также в перекрывающем эти отложения голоценовом почвенно-пирокластическом чехле, мы получили непрерывную летопись крупных эксплозивных извержений вулканов Камчатки за последние ~180 тыс. лет.

Еще более древний третий этап отвечает времени формирования «синих глин» – самой известной пачки озерных отложений ЦКД [1, 3-5]. Эта пачка уверенно прослеживается в обнажениях по долине р. Камчатки вдоль всего Генеральского поднятия от яра Генералка на юге до яра Диатомитового на севере. Видимая мощность пачки достигает 12 м, ее подошва не вскрыта. Максимальное количество тефр – около двадцати – описано в яре Диатомитовом. Прежние оценки возраста «синих глин» у разных авторов варьируют от раннего до позднего плейстоцена [1, 3-5]. Корреляции тефр, захороненных в пачке «синих глин», с пеплами из осадочных колонок Охотского моря и Тихого океана (рис. 1в), для которых опубликованы возрастные модели, позволили заключить, что эти отложения сформировались примерно 300-320 тыс. лет назад. В пачке «синих глин» залегают тефры, связанные с извержениями в пределах вулканических центров Южной (Горелый, Паужетка) и Восточной Камчатки, а также с извержениями вулканов Срединного хребта (в частности, Хангара).

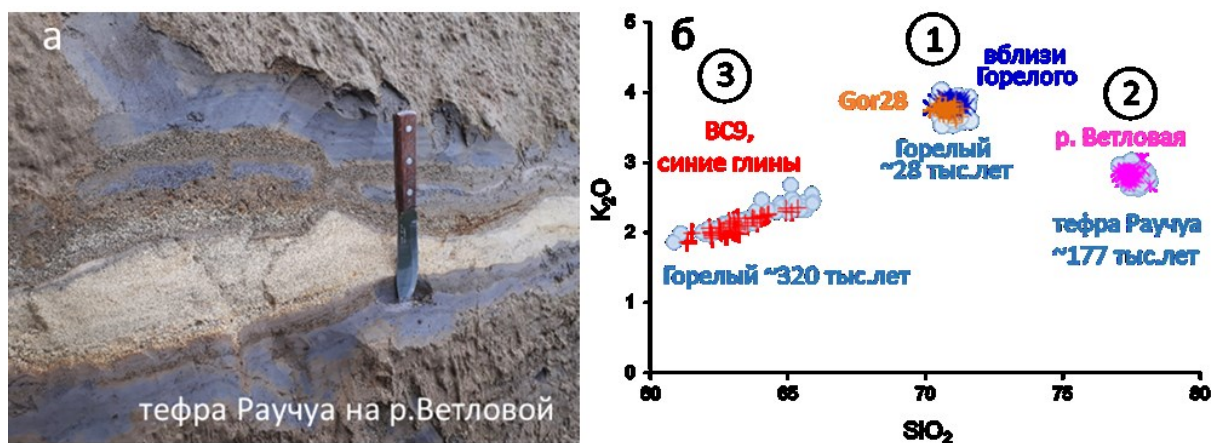


Рис. 2. а – тефра Раучуа в основании разреза озерных отложений р. Ветловой; б – примеры корреляции горизонтов тефры из озерных отложений различных этапов с пеплами из датированных морских и озерных осадочных колонок (номера этапов показаны в кружках): 1 – тефра Gor28 вулканического центра Горелый в озерных отложениях этапа 12-30 тыс. лет назад и вблизи кальдеры, 2 – тефра Раучуа, Карымский центр (этап 30-180 тыс. лет назад), 3 – еще одна тефра центра Горелый (BC9), залегающая в пачке «синих глин» (этап 300-320 тыс. лет назад). Составы пеплов из морских и озерных колонок показаны голубым цветом. Содержание оксидов дано в масс. %.

Кроме идентифицированных тефр, нами обнаружены пеплы, существенно отличающиеся по составу вулканических стекол от ранее известных тефр Камчатки [7]. С учетом того, что пеплы самых мощных извержений (например, Раучуа и Gor28) распространялись на расстояния 1500-1700 км от источников (рис. 1а, б), нельзя исключить присутствие в наших разрезах тефр вулканов Алеутской и Курильской вулканических дуг.

Исследования выполняются при поддержке проекта РНФ № 21-77-10102, руководитель проекта – Е.А. Зеленин.

### Список литературы

1. 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.
2. Краевая Т.С., Кураленко Н.П. Верхнеплейстоценовые ледниковые образования подножий активных вулканов Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1983. № 2. С. 25-35.
3. Куприна Н.П. Стратиграфия и история осадконакопления плейстоценовых отложений Центральной Камчатки // Труды ГИН АН СССР. Вып. 216. М.: Наука, 1970. 148 с.
4. Куцев С.Л., Ливеровский Ю.А. Геоморфологический очерк Центральной Камчатской депрессии // Труды института физической географии АН СССР. Вып. 32. М.: Наука, 1940. 87 с.
5. Певзнер М.М., Каримов Т.Д., Нечушкин Р.И. Толща «синих глин» Центральной Камчатки: возраст и проблема происхождения // Материалы XXII Всероссийской научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 28-29 марта 2019 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2019. С. 102-105.
6. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.106838>
7. 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. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-12-469-2020>