

УДК 551.4+551.46

## ТЕФРА КАТАСТРОФИЧЕСКИХ КАЛЬДЕРООБРАЗУЮЩИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНЫХ КУРИЛ И ТУРБИДИТ ГОЛОЦЕНОВОГО СИЛЬНОГО ПОДВОДНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В КЕРНЕ СКВАЖИНЫ 193 “ГЛОМАР ЧЕЛЛЕНДЖЕР” (СЗ ПАЦИФИКА)

© 2022 г. И. В. Мелекесцев<sup>а</sup>, О. В. Дирксен<sup>а, \*</sup>

<sup>а</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, бульвар Пуйна, 9, Петропавловск-Камчатский, 683006 Россия

\*e-mail: dirksen@kscnet.ru

Поступила в редакцию 17.05.2021 г.

После доработки 28.03.2022 г.

Принята к публикации 27.06.2022 г.

Приведены результаты специализированного анализа отложений, вскрытых скважиной 193, в 19-м рейсе б/с “Гломар Челленджер” в Тихом океане восточнее Центральных Курильских островов. Эти данные могут послужить основой при проведении начального этапа подводных тефрохронологических исследований в данном районе в будущем. Наибольшее внимание уделено слоям, линзам и пятнам тефры разного состава и мощности, а также осадкам с повышенной примесью частиц вулканического стекла. Установлено, что в районе скв. 193 произошло не менее 8 пеплопадов, из них 7 – за последние 115 тыс. лет. Показано, что они, вероятнее всего, были связаны с сильными и кальдерообразующими эксплозивными извержениями вулканических центров Курильских островов. Осуществлено их предварительное датирование. Впервые в керне скважины диагностирован и описан турбидит предполагаемого подводного землетрясения начала голоцена. Предложена гипотеза о причинах обрыва колонок морских осадков – превращение при бурении скважины мощных прослоев обводненной пирокластики алевропелитовой размерности, в результате процессов тиксотропии, в гидрозоль.

*Ключевые слова:* донные морские осадки, подводная тефрохронология, кальдерообразующее извержение, землетрясение, турбидит, гидрозоль

DOI: 10.31857/S0203030622050078

### ВВЕДЕНИЕ

Проведенное во второй половине XX века глубокое бурение океанического дна с буровых судов (б/с) “Гломар Челленджер” и “ДЖОИДЕС резолушн” в рамках программы “Deep Sea Drilling Program” (DSDP) оказало весьма существенное положительное влияние на развитие наук о Земле, включая различные аспекты вулканологии и сейсмологии: проблемы соотношения подводного и наземного вулканизма, надводной и подводной тефрохронологии, палеосейсмостектоники и др. При этом материалы ближайших к Камчатке скважин 191 и 192, пробуренных в 1971 г. [Creager et al., 1973], для решения перечисленных вопросов нами уже неоднократно использовались [Мелекесцев, Курбатов, 1997; Мелекесцев, 2014, 2016; Мелекесцев, Слезин, 2017, Новейший ..., 2005]. Что касается скв. 193 (45°48.29' с.ш., 155°52.27' в.д.) – последней, пробуренной в том же рейсе напротив островов Центральных Курил, на глубине 4811 м в привершинной части подводного вала Зенкевича (в англоязычной литературе

часто называемого Hokkaido Rise), то полученные там фактические данные в более поздних геоморфолого-геологических публикациях, ни нами, ни другими исследователями практически не отражены. Возможно, это было прежде всего связано с небольшой (71 м) ее глубиной и малым (в сумме – 12 м в четырех колонках) количеством отобранного керна. Тем более, что пробуренная мощность осадков вообще не превышала 15% от предполагаемой (470 м) общей мощности толщи осадочных отложений, а ее подошва и породы фундамента под ней не вскрыты. Однако для решения проблемы реконструкции эруптивной истории и эволюции молодого вулканизма Курильских островов, соотношения там вулканических и невулканических процессов, ее роль, как будет показано ниже, весьма значительна, поскольку она – ближайшая и единственная скважина, расположенная поблизости от вулканов Центральных Курил.

В последние годы все большее распространение получает использование колонок морских отложений для выявления мощных эксплозивных

извержений, происходивших на прилегающих участках суши в прошлом. При этом бурение осуществлялось, в подавляющем большинстве случаев, для палеоокеанологических и палеоклиматических реконструкций, тейфростратиграфии морских отложений была хотя и полезным, но, тем не менее, “побочным” продуктом изучения колонок. Также следует отметить, что бурение проводилось главным образом в акваториях более мелких окраинных морей Тихого океана: Японского, Охотского и Берингова; скважины в акватории открытого Тихого океана можно пересчитать по пальцам. Особенно отчетливо эта диспропорция заметна в районе Курильской островной дуги. К западу от нее, в Охотском море, насчитывается около сотни скважин [Сахно и др., 2010; Derkachev et al., 2016; Machida, Arai, 2003 и др.], в то время как к востоку, в открытом океане их всего три [Cao et al., 1995].

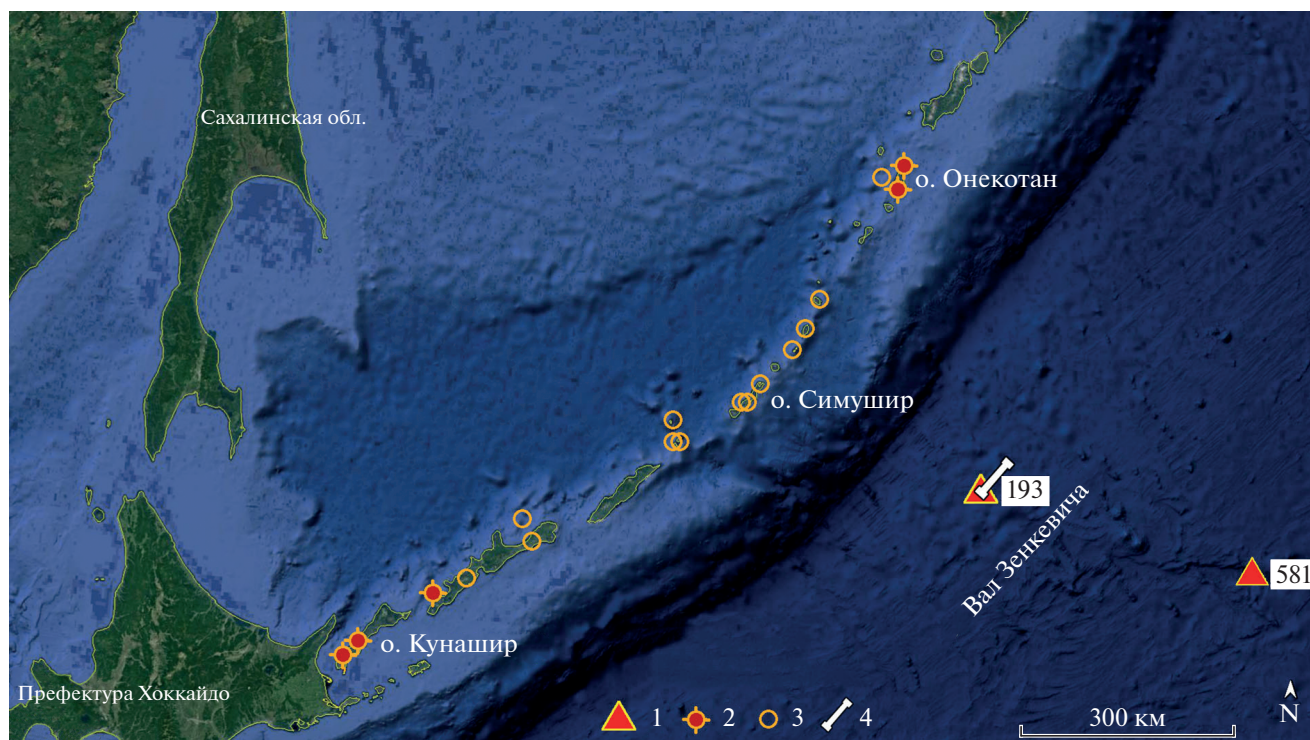
Этот дисбаланс существенным образом сказался и на полученных результатах. Детальное изучение колонок Охотского моря позволило обнаружить 26 горизонтов вулканических пеплов, выпадавших за последние 300 тыс. лет. Однако, несмотря на обилие позднплейстоцен-голоценовых кальдер на Курилах (рис. 1) и на Камчатке [Braitseva et al., 1995], в изученных колонках было идентифицировано лишь четыре горизонта тейфры, связанных с их извержениями [Дирксен, Рыбин, 2020; Derkachev et al., 2016]. Одной из наиболее вероятных причин отсутствия тейфры кальдерообразующих извержений в колонках Охотского моря может являться распространение вулканических пеплов преимущественно в восточном направлении, в соответствии с преобладающим направлением переноса воздушных масс. Это подчеркивает значимость скважин Тихого океана для реконструкции истории эруптивных событий Курило-Камчатского региона. Из трех упоминавшихся выше скважин, вулканические пеплы изучались в скв. 881 рейса 145 проекта “Ocean Drilling Project” (47°6.136' N, 161°29.492' E) [Rea et al., 1993; Cao et al., 1995]. В общей сложности в колонке было выявлено и охарактеризовано более ста горизонтов тейфры. Однако авторы не идентифицировали источники этих пеплов, ограничившись предположением, что все они связаны с извержениями вулканов Камчатки, Курил или Японии. Кроме того, согласно построенной возрастной модели этой колонки, все изученные пеплы старше 300 тыс. лет. Таким образом, ни одного пепла многочисленных позднплейстоцен-голоценовых эксплозивных извержений Курил и Камчатки не было. Возможной причиной этого может быть значительная удаленность (более 500 км) скв. 881 от ближайших эруптивных центров. Таким образом, колонка скв. 193, расположенная в 300 км от Курильских островов, является практически единственным возможным источником информации

о молодом вулканизме этого региона. К сожалению, мы не имеем доступа к первичным данным, поэтому для наших реконструкций мы используем описания колонок, опубликованные в первичном отчете [Creager et al., 1973]. Учитывая значимость данной скважины, любая интерпретация опубликованных материалов, в том числе и наша, возможно, в некоторой степени и неоднозначная, может иметь большое значение для реконструкции истории эруптивной активности вулканических центров Курильских островов в среднем плейстоцене–голоцене и служить отправной точкой при проведении дальнейших исследований.

### ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И СТРУКТУРНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ СКВАЖИНЫ 193

Скважина 193 расположена на подводном валу Зенкевича за глубоководным Курильским желобом с океанской стороны, в 110–120 км от его оси (см. рис. 1) и на расстоянии 300–320 км от ближайших хорошо выраженных в рельефе крупнейших молодых вулканических образований Большой гряды Курильских островов (кальдер Матуа, Расшуа, Ушишир, Броутона и Заварицкого) (см. рис. 1). Стоит также отметить, что скв. 193 находится от всех них к ЮВ–ВЮВ, в зоне господствующих направлений тропосферных ветров и струйных течений тропопаузы [Международный ..., 2003], обеспечивающих ориентировку главных осей вулканических пеплопадов. По геолого-геоморфологическим данным, все перечисленные выше кальдеры возникли в позднем плейстоцене–голоцене [Камчатка ..., 1974; Новейший ..., 2005]. Для трех из них возраст позднее определен более точно. Одна из трех кальдер комплекса Заварицкого имеет календарный возраст 23960 лет, определенный по частицам вулканического стекла в ледниковом керне скважины в Гренландском ледниковом щите [Vourne et al., 2016]. А самая молодая его кальдера – радиоуглеродный возраст около 8.0–8.5 тыс. лет назад [Gorbarenko et al., 1998, 2002; Hasegawa et al., 2011; Kaiser, 2001; Nakagawa et al., 2008]. Все голоценовые возраста, приведенные в этих публикациях, – расчетные, по ближайшим в разрезах отложений радиоуглеродным датировкам. Их примерный календарный возраст, как, соответственно, и последней кальдеры Заварицкого, 9.1–9.5 тыс. лет (от 2020 г.). Радиоуглеродный возраст кальдеры Матуа, пересчитанный на календарный – 11.5 тыс. лет (от 1950 г.) [Арсланов и др., 2011] близок по времени к началу голоцена и первой фазе активизации быстрого подъема уровня Мирового океана.

В скв. 193 относительно полно отобран керн из морских осадков голоцен-среднплейстоценового возраста с горизонтами и линзами тейфры, а также другими неморскими образованиями, воз-



**Рис. 1.** Расположение скважин 193 и 581.

1 – скважины и их номера; 2 – датированные четвертичные кальдеры; 3 – кальдеры, возраст которых неизвестен; 4 – положение сейсмического профиля, показанного на рис. 2. Расположение кальдер – по [Бондаренко, Рашидов, 2003; Новейший ..., 2005; Подводный ..., 1992].

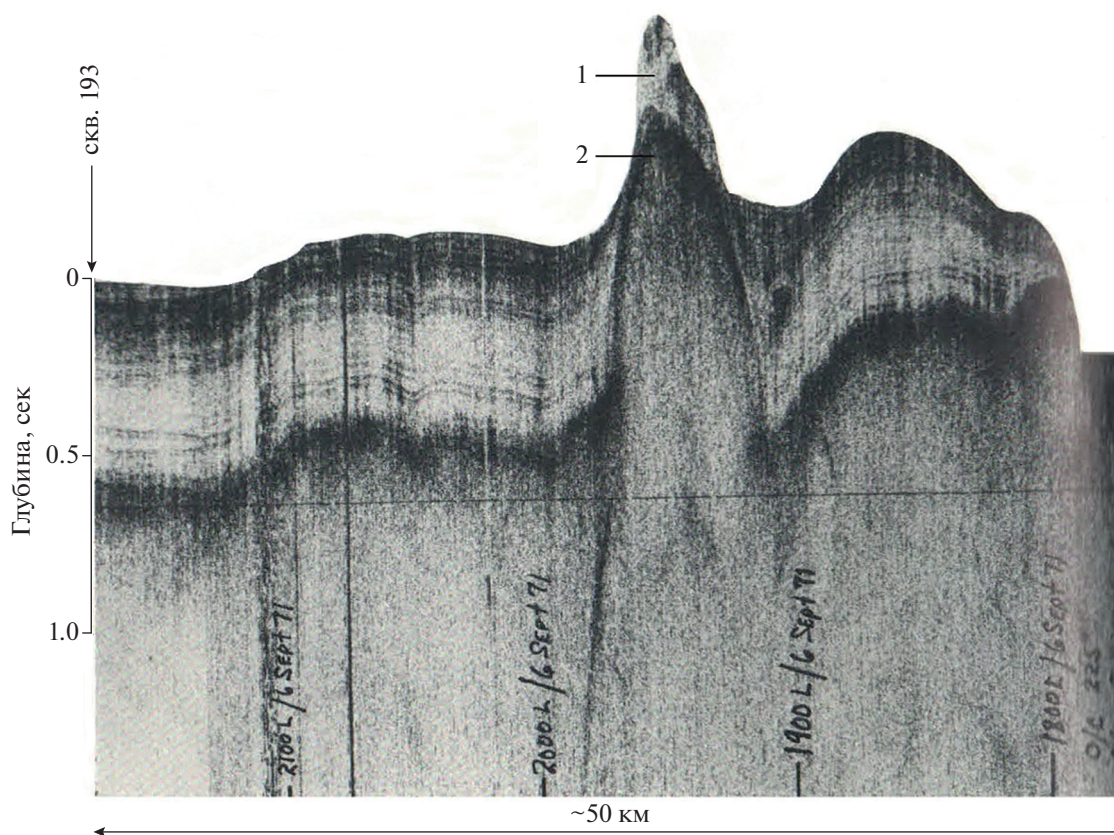
раст которых можно, в грубом приближении, оценить по скорости аккумуляции в этом временном интервале. В 19-м рейсе принятая нижняя граница среднего плейстоцена соответствует началу палеомагнитной эпохи Брюнес: по шкале 2012 г. – 781 тыс. лет. Кроме того, дополнительным указанием на плейстоценовый возраст пробуренных осадков служат обнаруженные в керноприемнике (интервал 67–71 м ниже кровли осадков) четыре нижнеплейстоценовые формы диатомей *Actinocyclus oculatus* [Creager et al., 1973]. Наконец, скв. 193 расположена на участке океанического дна, наиболее активном в сеймотектоническом отношении, который непосредственно примыкает к приокеанскому склону глубоководного Курильского желоба. А наиболее молодые землетрясения с магнитудой 8.1 и 8.3 случились в этом регионе 15 ноября 2006 г. и 13 января 2007 г. [Тихонов и др., 2008].

Последние 50 км пути б/с “Гломар Челленджер” перед началом бурения скв. 193 показаны в работе [Creager et al., 1973] на сейсмическом профиле (рис. 2). Хорошо видно, что примерно в 26–27 км от места бурения маршрут пересек вершину (или склон) возвышенности, поднимающейся над океаническим дном на несколько сот метров. На сервисной карте Google Earth этого участка дна ря-

дом с ней находится другая подобная возвышенность. А на поверхности дна видны выраженные в рельефе следы разрывных тектонических нарушений. На вершине и склоне возвышенности, изображенной на сейсмическом профиле, в ее юго-западном секторе, который ориентирован в направлении скв. 193, чехол осадочных отложений отсутствует, а с противоположной стороны имеется. Судя по соотношению с вмещающими породами и сохранившимися фрагментами мощного чехла морских осадков (см. рис. 2), эта возвышенность, вероятнее всего, является достаточно старым экструзивным образованием. Отсутствие же чехла осадочных отложений на юго-западном склоне, трассированным при прохождении бурового судна через возвышенность, можно объяснить произошедшим там обвалом или крупным оползнем вследствие сильного землетрясения (см. ниже).

#### СТРАТИГРАФИЯ И ГЕНЕЗИС ОСАДКОВ СКВАЖИНЫ 193

Бурение скв. 193 начато на глубине 4811 м [Creager et al., 1973]. Пробурено 71 м осадков. Отбор отложений проводился в интервалах (ниже поверхности морского дна): 0–2 м, керн 1; 2–11 м, керн 2; 25–34 м, керн 3; 67–71 м, керн 4.



**Рис. 2.** Фрагмент сейсмического профиля в конце маршрута перед началом бурения скв. 193.

1 – верхняя часть возвышенности, лишенная чехла морских осадков; 2 – нижняя часть возвышенности с сохранившимся чехлом.

В интервале 0–2 м (рис. 3) выход отложений керна составил 154 см: 0–154 см ниже кровли осадков. Вмещающие отложения – диатомовая илистая глина умеренно-серого–темно-серого цвета (здесь и далее при описании отложений используется дословный перевод описания колонок в работе [Creager et al., 1973]). На глубине 37–42 см ниже кровли осадков обнаружен 5-сантиметровый слой необычного “кристаллического пепла”<sup>1</sup>, содержащего 40% стекла, 30% плагиоклаза, 10% пироксена, 20% рудных минералов. Общая окраска слоя темно-серая, гранулометрический состав обломочного материала не указан. На глубине 48–53 см – линзы стекловатого вулканического пепла оливково-серого цвета. В интервале от 65 до 133 см ниже кровли осадков – 4 эратических обломка (галька осадочных пород), которые оказались на морском дне в результате таяния льдов берегового припая во время позднелейстоценового оледенения, а не айсбергового разноса. Подобная ситуация обусловлена тем, что во время позднелейстоценовой ледниковой

<sup>1</sup> Ниже будет показано, что этот слой может иметь и другое происхождение.

эпохи, 29–14 календарных тыс. лет назад [Cohen, 2012], ледники на островах Центральных Курил отсутствовали [Камчатка ..., 1974].

Для интервала 154–200 см керн не был извлечен. Не исключено, что отрыв нижнего фрагмента керна морских осадков мощностью 45–46 см произошел при разжижении на глубине 154–155 см от кровли осадков в ходе бурения слоя обводненной алевропелитовой тефры, обладавшей тиксотропными свойствами. Способность различных тонкодисперсных систем обратимо разжижаться при достаточно интенсивных механических воздействиях (перемешивании, встряхивании) и отвердевать, при пребывании в покое, хорошо известна как для субэаральных, так и для подводных осадочных обстановок [Николаева и др., 1985; Mewis, Wagner, 2009]. Такой процесс также наблюдался одним из авторов при транспортировке и изучении тонкозернистых пеплов (так называемого “серого пепла”) Северного прорыва Большого Толбачинского извержения 1975 г. [Большое ..., 1984]. В случае скв. 193, при извлечении колонки именно граница двух сред с разным гранулометрическим составом и, таким образом, обладающих различными тиксотропными свой-

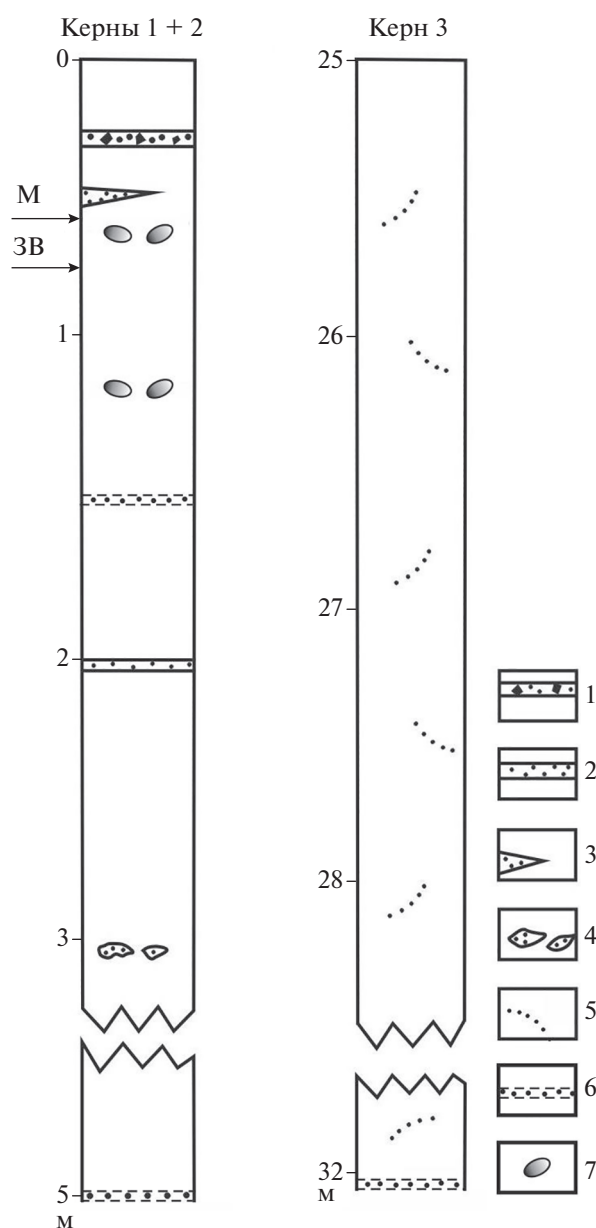
ствами [Del Gaudio et al., 2018; Toorman, 1997], могла являться наиболее вероятным местом отрыва керна.

Кровля осадков керна 2 начинается с 5-сантиметрового слоя (200–205 см) стекловатого вулканического пепла оливково-серого цвета. Вмещающие осадки верхней части колонки – темно-серые, содержащие вулканическое стекло, ил и глину с большим количеством диатомового ила (60% диатомей, 15% плагиоклаза и кварца, 15% глинистых частиц, 10% стекла). Наличие значительного количества вулканического стекла свидетельствует о высокой интенсивности в это время эксплозивного вулканизма.

Ниже (326–335 см от кровли колонки) – следы еще одного мощного горизонта оливково-серой стекловатой тефры, выраженного в виде деформированного и разорванного пятна размером 9 см. Вмещающие осадки, содержащие вулканическое стекло, богатые диатомеями илистые глины темно-серого цвета (10% диатомей, 5–10% стекла, 30% алеврита, 50% глины). Судя по уменьшению процента рассеянного вулканического стекла, интенсивность эксплозивного вулканизма в это время несколько ослабла, по сравнению с более ранним этапом. В осадках основания керна 2 (335–495 см ниже его кровли) вулканическое стекло вообще не отмечено: 60% диатомей, 10% плагиоклаза и кварца, 30% глины, 1% пирита). Следовательно, сила эксплозивного вулканизма тогда еще более уменьшилась, а интенсивные пеплопады перестали достигать района скв. 193.

Нижняя часть керна 2 отсутствует. Не исключено, что здесь, как и в кернах 1, произошел отрыв при разжижении слоя алевропелитовой тефры, но на глубине ~5 м от кровли осадков. Керн в интервале 11–25 м ниже кровли осадков вообще не отбирался.

Самый крупный (7.5 м) фрагмент толщи морских осадков был отобран на глубине 25–32.5 м ниже ее кровли в кернах 1–3. Это чередование слоев темно-серого цвета с различным содержанием глины и алеврита, а также более светлоокрашенных слоев, обогащенных диатомеями: 30% алеврита, 70% глины; 25% алеврита, 75% глины; 30% диатомей, 30% алеврита, 40% глины. Все осадки в работе [Creager et al., 1973] отнесены к среднему плейстоцену. Соответственно их возраст моложе 781 тыс. лет. Обращает внимание, что, в отличие от керна 1 и 2, в кернах 3 отсутствуют различные слои и крупные линзы тефры, а имеются лишь разрозненные пятна, вероятнее всего, принесенные издали беловато-коричневато-серых стекловатых вулканических пеплов – явное свиде-



**Рис. 3.** Морские осадки, вскрытые при бурении скв. 193 (керны 1–3), по [Creager et al., 1973]. 1 – верхний горизонт “кристаллического пепла” (комбинация криптотефры и турбидита); 2–4 – разнообразные формы залегания тефры в осадках (2 – слой, 3 – линза, 4 – пятна); 5 – рассеянное вулканическое стекло; 6 – предполагаемые горизонты пеплов (места отрыва керна); 7 – положение эрратических обломков. Стрелками показано вероятное положение тефры извержений кальдер о. Матуа (М) и Заварицкого (ЗВ).

тельство того, что эксплозивный вулканизм Центральных Курил был весьма слабым, а сильно уменьшенная по мощности тефра удаленных центров катастрофических извержений самостоятельных слоев здесь не образовывала. Необыч-

ным фактом является наличие в 7.5-метровой пробуренной пачке отложений единственного эрратического обломка — гальки. Это указывает на отсутствие в рассматриваемом регионе обширных прибрежных ледовых покровов и крупных участков островной суши, а, возможно, и надводных вулканов, что предполагалось еще в работе [Камчатка ..., 1974].

Ниже 32.5 м, вплоть до глубины 71 м, отложения остались практически неопробованными: в интервале 34–67 м керн не отбирался, а в интервале 32.5–34 м и 67–71 м керн не удалось отобрать. Диатомиты, алевриты, обогащенные вулканическим стеклом глины оливково-серого цвета кратко описаны лишь в ловушке керна 4: 10% диатомей, 15% алеврита с 5% плагиоклаза, 15% стекла, 50% глины. Наличие 15% вулканического стекла свидетельствует о нахождении там переотложенного вулканического пепла.

Значительные трудности возникли и при определении возраста пробуренных отложений, так как ни один из их горизонтов в скважине не был датирован изотопным методом. Поэтому для решения данной проблемы пришлось использовать весь комплекс доступных авторам методов относительного датирования и личный опыт, с главным упором на возможную оценку скоростей аккумуляции осадочных отложений различными способами. При этом горизонты тефры принимались как сформировавшиеся в результате мгновенного события и их мощности исключались из общей мощности осадков при расчете скоростей аккумуляции.

Первоначально такие оценки были проведены по критически ревизованным данным по возрастному расчленению пробуренных отложений имеющимся в работе [Creager et al., 1973]: 0–2 м — верхний плейстоцен с принятой сейчас нижней возрастной границей 126 тыс. лет; 2–34 м — средний плейстоцен с нижней возрастной границей — 781 тыс. лет; отложений в ловушке керна 4 на глубине 71 м — ранний плейстоцен с нижней возрастной границей ~1800 тыс. лет [Cohen, Gibbard, 2011]. Поэтому реальная граница между средним и ранним плейстоценом должна находиться в интервале 34–67 м, а с ранним плейстоценом и плиоценом глубже 71 м. Рассчитанные по приведенным данным скорости аккумуляции оказались равны: для голоцена—верхнего плейстоцена — 1.5 см/1000 лет, среднего плейстоцена — >4.1 см/1000 лет, раннего плейстоцена — >3.2 см/1000 лет.

Для оценки скорости аккумуляции в позднем плейстоцене по глубине эрратических обломков в осадках, синхронных позднеледниковой эпохе

(29–14 тыс. л. н., по [Cohen, 2012]), были использованы данные по керну 2, где 4 таких обломка располагались в интервале 65–133 см ниже кровли осадков. Причем для самой верхней пачки (0–65 см) рассчитаны 2 варианта, поскольку непонятно было, когда попала на дно галька, находящаяся сейчас на глубине 65 см: 14 календарных тыс. л. н., в конце позднеплейстоценового оледенения или 11.7 календарных тыс. л.н. во время резкого глобального потепления и интенсифицированного им подъема уровня Мирового океана. По первому варианту эта скорость составила 4.6 см/1000 лет для пачки осадков в целом и 4.1 см/1000 лет — для вмещающих морских отложений; по второму — 5.6 см/1000 лет и 4.9 см/1000 лет соответственно. Полученный подобным образом возраст кристаллического пепла — 7.3 и 8.8 тыс. лет, а залегающего под ним стекловатого пепла — 8.7 и 10.5 тыс. лет. Пока, до проведения уточняющих исследований, придется принять результаты обоих вариантов. Но дата 10.5 тыс. лет предпочтительнее, так как этот пепел может быть связан с последней кальдерой комплекса Заварицкого (см. выше).

Что касается генезиса самого верхнего 5-сантиметрового слоя, кристаллического вулканического пепла (по [Creager et al., 1973]), то его генезис остается неясным. Несмотря на то, что авторы отчета назвали его пеплом, они же подчеркивают резкое отличие этого горизонта от других вулканических пеплов, обнаруженных в этой и других колонках рейса. Темно-серый цвет горизонта резко контрастирует с зеленовато-серым, желтовато-коричневым цветом пеплов в колонках скв. 193 и других скважин [Creager et al., 1973]. Также разительно отличается и его состав: в отличие от преимущественно стекловатых, с незначительным количеством кристаллокластов, в составе этого пепла преобладает кристаллическая фаза (30% — плагиоклаз, 10% — пироксен, 20% — рудные минералы) и 40% вулканического стекла, значительная часть которого изменена. Ни один из описанных в рейсе пеплов не имеет столь своеобразного состава.

Судя по его вещественному составу, этот горизонт мог бы образоваться в результате извержения близкого молодого вулканического центра, сложенного породами основного состава, однако в районе скв. 193 ни одного подобного вулкана пока не обнаружено: ни надводного, ни подводного, с неглубоко (менее 1 км) находящимися кратерами. Ближайшие подводные горы Головина и Морозко, которые могут быть вулканами, расположены в 120–180 км от скважины, а глубины моря над их вершинами 3729 м и 3682 м. Тефра базальт-андезитобазальтовых вулканов Камчатки и

Курильских островов, удаленных на 400–600 км, в виде сколько-нибудь четко выраженных горизонтов отлагаться здесь, на морском дне, тоже не должна вследствие очень больших расстояний до возможных центров извержения.

Поэтому для описываемого слоя предполагается, по нашему мнению, другой, более вероятный комбинированный генезис – турбидит, связанный с мутьевым потоком, который возник в результате сейсмостектонического обвала или крупного оползня на одной из подводных гор, сложенных эффузивными вулканическими породами.

Интенсивное дробление эффузивных пород при транспортировке мутьевым потоком, а также гравитационная дифференциация, в результате которой более легкая фракция, в первую очередь, вулканическое стекло, была вымыта и унесена, привели к образованию горизонта со столь необычными характеристиками. Некоторая примесь свежего вулканического стекла может быть связана с выпадением пепла, скорее всего периферической зоны пеплопада. Тефра могла быть как субсинхронной турбидиту, так и более старой, захваченной мутьевым потоком по пути. Судя по небольшой мощности слоя (5 см), этот горизонт, вероятно, представляет собой отложения наиболее дистальной части мутьевого потока. Подобные слои имеются и диагностированы в скв. 191 этого же рейса у западного подножия подводного хребта Ширшова [Мелекесцев, Курбатов, 1997]. Многие из них содержат и значительное количество вулканического стекла извержений удаленных вулканов Камчатки, Курильских островов, а также подводного вулкана Пийпа, расположенного в 180 км к ЮЮЗ от этой скважины. Химический состав частиц стекла не определялся, источник неизвестен. Тоже относится и к находящимся ниже линзам стекловатого вулканического пепла с возрастом 8.7 или 10.5 тыс. лет.

Для пачки отложений в интервале 0–133 см от их кровли, накопившихся в позднем плейстоцене–голоцене, предположительно за 29 тыс. лет, средняя скорость аккумуляции составила около 4.6 см/1000 лет. Она стала базовой и при оценке возраста более древних осадков, поскольку оказалась близкой к таковой (>4.1 см/1000 лет) за последние 781 тыс. лет.

Именно эта скорость аккумуляции и была использована, с поправкой на ее уменьшение в чисто морских вмещающих осадках, при определении возраста неморских образований в ядрах 1 и 2. При такой скорости аккумуляции нижняя возрастная граница верхнего плейстоцена (126 тыс. л. н., по [Cohen, Gibbard, 2011]) должна быть на глубине 580 см, а среднего плейстоцена (781 тыс. лет) – на

глубине около 40 м. По средней скорости аккумуляции (4.6 см/1000 лет) осадков оценен и возраст предполагаемой алевропелитовой тефры, которая послужила причиной отрыва на глубине 150–155 см от нижней части ядра 1 – 33–34 тыс. лет. Возраст 5-сантиметрового слоя стекловатого вулканического пепла в кровле ядра 2 (интервал 200–205 см) – 43–44 тыс. лет. Тем же методом было датировано (72–73 тыс. лет) разрушенное и деформированное пятно стекловатого оливково-серого вулканического пепла в интервале 326–335 см от кровли вскрытых осадков, самого нижнего из описанных в скв. 193.

Логично допустить, что в зоне отрыва ядра 2 на глубине около 500 см, ниже кровли осадков, находился еще один горизонт алевропелитовой тефры, который и спровоцировал этот отрыв. Если подобное предположение правильно, то возраст пепла должен быть порядка 110–115 тыс. лет. Аналогичная ситуация вполне вероятна и для зоны отрыва ядра 3 на глубине 32.5 м от кровли осадков с соответствующим возрастом пепла около 700–720 тыс. лет.

Вулканический пепел с возрастом ~24 тыс. лет одного из катастрофических извержений кальдерного комплекса Заварицкого на о. Симушир, частицы стекла которого с очень низким содержанием  $K_2O$  описаны в ядре Гренландского ледникового щита [Bourne et al., 2016], в скв. 193 не обнаружен. Хотя теоретически он должен там находиться в соответствии с восточным направлением движения струйных течений в тропопаузе над этим регионом. Возможно, что его отсутствие связано с тем, что извержение произошло, судя по его датировке, в середине позднеплейстоценовой ледниковой эпохи, когда размеры ледяных припаев были максимальными. А выпавшая на лед пирокластика сразу и компактно на морское дно не попала. Она оказалась там, но уже в рассеянном виде и на очень большой площади, в качестве криптотефры, лишь после таяния подстилающих льдов. Не исключено, что та же причина привела к отсутствию в разрезе осадков скв. 193 вулканического пепла катастрофического эксплозивного извержения, приведшего к возникновению 11.5 тыс. л.н. кальдеры на о. Матуа [Арсланов и др., 2011].

Предполагается также, что примесь вулканического пепла одного из горизонтов голоценового возраста (7.3 или 8.8 тыс. лет, 8.7 или 10.5 тыс. лет) ядра 1 скв. 193 обнаружена еще и в скв. 581 (43°55.62' с.ш., 159°47.76 в.д., глубина 5487 м), расположенной в створе с ней, но примерно в 700 км от Централных Курил [Heath et al., 1974]. В этой скважине в кремнистых глинах темно-се-

рого и оливково-серого цвета на глубине 40 см ниже кровли осадков присутствует 5% вулканического стекла песчаной размерности. Различимых прослоев тефры в ее керне 1 (интервал 0–85 см ниже кровли осадков) не описано [Heath et al., 1974].

Таким образом, в скв. 193, с разной степенью достоверности, для последних 110–115 тыс. лет в кернах 1 и 2 нами выделено 8 горизонтов вулканических пеплов, один из которых – комбинированный (турбидит + тефра). Суммарная мощность вмещающих их осадков – около 5 м. Предполагаемый временной интервал – неполный (без изотопной стадии MIS 5e) поздний плейстоцен–голоцен. Число и время отложений на морском дне горизонтов вулканических пеплов согласуются с ранее изложенными представлениями [Камчатка ..., 1974; Новейший ..., 2005] о молодом возрасте всех перечисленных в разделе 1 кальдер и крупнейших эксплозивных кратеров островов Центральных Курил, которые могли быть потенциальными источниками тефры в скв. 193. Соотношение количества эруптивных центров и вулканических пеплов (11 к 8) указывает на преобладающую (В или ВЮВ) ориентировку главных зон пеплопадов. Правда, точно неизвестно, какие пеплы в скв. 193 курильские, а какие – камчатские или японские. О сильных западных ветрах в начале позднего плейстоцена свидетельствует и значительная (10%) примесь полевого шпата и кварца в донных осадках на глубине около 4.8 м в керне 2, принесенных с азиатского материка.

Наибольшая частота пеплопадов отмечалась в начале голоцена (7.3 или 8.8 тыс. лет; 8.7 или 10.5 тыс. лет; 11.5 тыс. лет) с интервалами между ними 1.4 и 1.9 тыс. лет. Для последних 7.3 или 8.8 тыс. лет голоцена пеплопадов в районе скв. 193 не было. В позднем плейстоцене частота пеплопадов колебалась от 9.5 до 40 тыс. лет. В целом, за последние 115 тыс. лет наиболее характерная величина временных интервалов между пеплопадами была от 9.5 до 13.5 тыс. лет (три случая из семи). Самый большой, отмеченный нами, промежуток времени между пеплопадами, имел место в первой половине среднего плейстоцена: более 500 тыс. лет после 720–700 тыс. л. н. При этом следует учитывать, что наши оценки сделаны по результатам бурения всего одной скважины и при получении новых данных (новых скважин) результаты могут быть уточнены.

К сожалению, общая геохимия пеплового материала и геохимия частиц вулканического стекла в скв. 193 не проведены. Отсутствуют и данные по гранулометрии тефры. Поэтому провести уверенную корреляцию выявленных в скважине следов эруптивных событий с конкретными вулка-

ническими центрами Курильских островов оказалось невозможным. То же самое относится и к данным по слоям тефры в Охотском море, приведенным в сводной статье [Derkachev et al., 2016].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный авторами специализированный анализ ранее мало использованных в научных публикациях фактических данных, полученных при бурении б/с “Гломар Челленджер” скв. 193 [Creager et al., 1973], позволили не только подтвердить имевшиеся представления по истории эруптивной активности молодых вулканов Центральных Курильских островов, но и существенно их дополнить и даже изменить. Во многом это объясняется тем, что такой анализ осуществлялся с учетом вулканолого-геоморфологических результатов собственных исследований авторов наземных вулканических образований рассматриваемого региона. Установлено, что в районе скв. 193 произошло не менее 8 пеплопадов, из них 7 – за последние 115 тыс. лет. Наиболее вероятными источниками этих пеплов были вулканы Курильских островов, но осуществить более точную привязку выявленных в скв. 193 следов сильной и катастрофической эксплозивной деятельности (слоев, линз, пятен тефры, морских осадков, обогащенных частицами вулканического стекла) пока не удалось из-за отсутствия их точных изотопных датировок и геохимических данных.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арсланов Х.А., Мелекесцев И.В., Разжигиева Н.Г. и др. Возраст почвенно-пирокластического чехла и хронология вулканической активности на о. Матуга (Центральные Курилы) в голоцене // Тезисы докладов VII Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. Апатиты: Геологический институт КНЦ РАН, 2011. Т. 1. С. 43–45.
- Большое трещинное Толбачинское извержение (Камчатка 1975–1976 гг.) / Под ред. С.А. Федотова. М.: Наука, 1984. 638 с.
- Бондаренко В.И., Рашидов В.А. Вулканический массив Черных Братьев (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 2003. № 3. С. 35–51.
- Дирксен О.В., Рыбин А.В. Раннеголоценовые тефры кальдеры Заварицкого (о. Симушир) – новые пеплы-маркеры СЗ Пацифики // Материалы XXIII ежегодной научной конференции “Вулканизм и связанные с ним процессы”, посвященной Дню вулканолога, 30–31 марта 2020 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2020. С. 18–21.
- Камчатка, Курильские и Командорские острова / Под ред. И.В. Лучицкого. М.: Наука, 1974. 440 с.



- Международный геолого-геофизический атлас Тихого океана / Под ред. Г.Б. Удинцева. М., СПб.: МОК (ЮНЕСКО), РАН, ФГУППКО "Картография", ГУНИО, 2003. 192 с.
- Мелекесцев И.В.* Особенности геоморфологии и истории формирования массива Вулканологов в Беринговом море (новая версия) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. № 1. Вып. 23. С. 29–41.
- Мелекесцев И.В.* Эксплозивное кальдерообразующее суперизвержение Опала IV – крупнейшее на Камчатке за последние 50 тыс. лет // Вулканология и сейсмология. 2016. № 1. С. 1–16.
- Мелекесцев И.В., Курбатов А.В.* Частота крупнейших палеосейсмических событий на северо-западном побережье и в Командорской котловине Берингова моря в позднем плейстоцене–голоцене // Вулканология и сейсмология. 1997. № 3. С. 3–11.
- Мелекесцев И.В., Слезин Ю.Б.* Магматические суперполюки Берингова моря. Ч. 1. Природная модель, геолого-геоморфологические признаки // Вулканология и сейсмология. 2017. № 1. С. 3–16.
- Николаева С.К., Королёв В.А., Осипов В.И., Соколов В.Н.* Тиксотропия глинистых грунтов // Физико-химическая механика природных дисперсных систем / Под ред. Е.Д. Шукина. М.: Изд-во МГУ, 1985. С. 158–167.
- Новейший и современный вулканизм на территории России / Под ред. Н.П. Лаврова. М.: Наука, 2005. 604 с.
- Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги / Под ред. Ю.М. Пушаровского. М.: Наука, 1992. 528 с.
- Сахно В.Г., Деркачев А.Н., Мелекесцев И.В. и др.* Вулканические пеплы в осадках Охотского моря: идентификация по микро- и редкоземельным элементам // Докл. РАН. 2010. Т. 434. № 2. С. 204–211.
- Тихонов И.И., Василенко Н.Ф., Золотухин Д.Е. и др.* Сибирийские землетрясения и цунами 15 ноября 2006 г. и 13 января 2007 г. // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27. № 1. С. 3–17.
- Bourne A., Abbott P., Albert P. et al.* Underestimated risks of recurrent long-range ash dispersal from northern Pacific Arc volcanoes // Scientific Reports. 2016. V. 6. P. 1–8. <https://doi.org/10.1038/srep29837>
- Braitseva O.A., Melekestsev I.V., Ponomareva V.V., Sulerzhitsky L.D.* The ages of calderas, large explosive craters and active volcanoes in the Kuril-Kamchatka region, Russia // Bull. of Volcanol. 1995. V. 57. Iss. 6. P. 383–402.
- Cao L.-Q., Arculus R.J., McKelvey B.C.* Geochemistry and petrology of volcanic ashes recovered from sites 881 through 884: a temporal record of Kamchatka and Kurile volcanism // Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results / Eds D.K. Rea, I.A. Basov, D.W. Scholl, J.F. Allan. 1995. V. 145. P. 345–381.
- Cohen K.* Regional chronostratigraphical correlation chart for the last 270.000 years: Europe north of the Mediterranean // Quaternary International. 2012. V. 279–280. P. 93.
- Cohen K.M., Gibbard P.* Global chronostratigraphical correlation table for the last 2.7 million years. Subcommission on Quaternary Stratigraphy // International Commission on Stratigraphy. Cambridge, UK, 2011. 1 p.
- Creager J.S., Scholl D.W., Boyce R.E. et al.* Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. 1973. Site 193. V. XIX. Washington (U.S. Government Printing Office). 913 p.
- Del Gaudio P., Ventura G.* Flow Behavior of Clay-Silt to Sand-Silt Water-Rich Suspensions at Low to High Shear Rates: Implications for Slurries, Transitional Flows, and Submarine Debris-Flows // Acta Geologica Sinica. 2018. V. 92. Iss. 6. P. 2395–2404.
- 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.
- Gorbarenko S.A., Chekhovskaya M.P., Souhton J.R.* On the paleoenvironment of the central part of the Sea of Okhotsk during the past Holocene glaciation // Oceanology. 1998. V. 38. Iss. 2. P. 277–280.
- Gorbarenko S.A., Nürnberg D., Derkachev A.N. et al.* Magne to stratigraphy and tephrochronology of the Upper Quaternary sediments in the Okhotsk Sea: implication of terrigenous, volcanogenic and biogenic matter supply // Marine Geology. 2002. V. 183. Iss. 1–4. P. 107–129.
- Hasegawa T., Nakagawa M., Yoshimoto M. et al.* Tephrostratigraphy and petrological study of Chikurachki and Fuss volcanoes, western Paramushir Island, northern Kurile Islands: evaluation of Holocene eruptive activity and temporal change of magma system // Quaternary International. 2011. V. 246. Iss. 1–2. P. 278–297.
- Heath G.R., Burckle L.H., Rea D.H. et al.* Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. Washington (U.S. Government Printing Office). 1974. V. 86. 804 p.
- Kaiser A.* Ozeanographie, Produktivität und Meereisverbreitung im Ochotskischen Meer während der letzten ca. 350 ka // Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Germany (in Germany). 2001. 114 p.
- Machida H., Arai F.* Atlas of tephra in and around Japan. Tokyo: Tokyo University Press, 2003. 336 p.
- Mewis J., Wagner N.J.* Thixotropy // Advances in Colloid and Interface Science. 2009. V. 147–148. P. 214–227.
- Nakagawa M., Ishizuka Y., Hasegawa T. et al.* Preliminary Report on Volcanological Research of KBP 2007–2008 Cruise by Japanese Volcanology group. Sapporo: Hokkaido University, 2008. 12 p. <https://doi.org/10.6067/XCV8668F2H>
- Rea D.K., Basov I.A., Janecek T.R. et al.* Proceedings of the ODP, Initial Reports, 145: College Station, TX (Ocean Drilling Program). 1993. 391 p.
- Toorman E.A.* Modelling the thixotropic behaviour of dense cohesive sediment suspensions // Rheologica Acta. 1997. V. 36. Iss. 1. P. 56–65.

## **Tephra of Catastrophic Caldera-Forming Eruptions within Central Kurile Islands and Turbidite of Strong Holocene Underwater Earthquake in the Deposits of “Glomar Challenger” Site 193 Core (NW Pacific)**

**I. V. Melekestsev<sup>1</sup> and O. V. Dirksen<sup>1, \*</sup>**

*<sup>1</sup>Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, bul'var Piipa, 9, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006 Russia*

*\*e-mail: dirksen@kscnet.ru*

We reevaluated and corrected the interpretation of previously identified layers and lenses of volcanic ashes which were found in the “Glomar Challenger” Site 193 core. We suppose these tephras are related to some caldera-forming explosive eruptions of volcanic centers in the central part of the Kurile Island Arc. Preliminary dating of these events was conducted. In the core we also identified turbidite – the trace of large landslide which occurred as a result of strong earthquake at this area during the Early Holocene. We also suggest a hypothesis on the causes of the breakage of the marine sediment cores. One of the possible reason could be the presence of very fine grained ash layers which exhibit thixotropy during the drilling, forming the weakened zone within the core. When raising the core these weak zone resulted in breakage of the lower part of sediment.

*Keywords:* deep-sea sediment, underwater tephrochronology, caldera-forming eruption, underwater earthquake, turbidite, hydrosol