

УДК 550.4+551.217(571.66)

© 1997 г. ПЕВЗНЕР М.М., ПОНОМАРЕВА В.В., МЕЛЕКСЕЦЕВ И.В.

ЧЕРНЫЙ ЯР-РЕПЕРНЫЙ РАЗРЕЗ ГОЛОЦЕНОВЫХ МАРКИРУЮЩИХ ПЕПЛОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАМЧАТКИ

В результате тифхронологических и радиоуглеродных исследований почвенно-пирокластических чехлов по профилю вулкан Шивелуч - Черный Яр - остров Беринга в них удалось выделить и идентифицировать пеплы крупнейших (за последние 6500 лет) извержений вулкана Шивелуч в юго-восточном секторе их распространения, а также пеплы вулканов Безымянный, Ксудач, Ключевской, Авачинский и Хангар. Детальное радиоуглеродное датирование торфяника Черного Яра позволило не только уточнить возраст самих извержений, но и определить частоту пеплопадов для района нижнего течения реки Камчатки, которая составляет в среднем 1 пеплопад за 191 год. Помимо тифры 1964 г., предлагается использовать в качестве региональных геохронологических маркеров горизонты пеплов вулкана Шивелуч, имеющие следующий округленный радиоуглеродный возраст: 265 (Ш₁), 965 (Ш₂), 1450, 2800, 3600 (СП), 4105 (Ш_{ав}), 4800, а также пеплы вулканов Ксудач - 1806 (КС₁) и Авачинский - 5489 (АВ₂) лет.

A REFERENCE SECTION OF HOLOCENE MARKER ASHES: CHERNYI YAR, NORTH-EASTERN COAST OF KAMCHATKA, by P e v z n e r M.M., P o n o m a r e v a V.V. and M e l e k e s t s e v I.V. Tephrochronological and radiocarbon investigations of soil-pyroclastic deposits along the line Shiveluch Volcano - Chernyi Yar - Bering I. have detected and identified the ashes of largest (for the past 6500 years) eruptions on Shiveluch Volcano in the southeastern sector of the ash abundance area, as well as the ashes of Bezmyannyi, Ksudach, Klyuchevskoi, Avacha and Khangar volcanoes. A detailed radiocarbon dating of peat deposits in Chernyi Yar has not only improved the age determinations of the eruptions themselves but also helped in the determination of ash fall rate for the lower Kamchatka R. valley, namely, once in 191 years. Apart from the 1964 tephra, we suggest for use as regional geochronological markers the ash horizons of Shiveluch Volcano having the following rounded radiocarbon dates: 265 (SH₁), 965 (SH₂), 1450, 2800, 3600 (SP), 4105 (SH_{av}), 4800, as well as the ashes from Ksudach 1806 (KS₁) and Avacha 5489 (AV₂) volcanoes.

(Received January 10, 1997)

Institute of Volcanic Geology and Geochemistry, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia

Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, 109017, Russia

Пеплы крупнейших извержений, отлагаясь фактически мгновенно на огромных территориях, являются прекрасными временными маркерами в геологической летописи. Будучи датированы, они служат надежными геохронологическими реперами, которые позволяют определять возраст различных форм рельефа и отложений. По соотношению с датированными пеплами устанавливается возраст вулканических образований, морских и речных террас, голоценовых морен, крупных сейсмостектонических обвалов, следов палеоцунами, культурных слоев первобытных стоянок, а также проводится корреляция отложений различного генезиса. На основе разработанной О.А. Брайцевой с соавт. геохронологической шкалы региональных маркирующих пепловых горизонтов [19, 20] такие работы все шире проводятся на Камчатке, на-

пример [2, 4, 5, 15]. В связи с этим особую важность приобретают выделение, комплексное изучение и детальное датирование опорных разрезов для разных областей Камчатки, содержащим максимально возможное для данной точки количество как региональных, так и локальных маркирующих прослоев пеплов.

Далеко не во всех типах отложений такие маркирующие прослои сохраняются в необходимой для корреляции мере. Идеальными «ловушками» для пеплов служат, в частности, торфяники, так как богатая травянисто-моховая растительность болот и заболоченных лугов создает оптимальные условия для отложения выпадающей тефры, препятствуя ее передуванию и смыванию. Для тефры, захоронившейся в торфянике, обычно не характерны раздувы мощности, заполнение трещин и наклонное залегание, часто встречающиеся в разрезах с межпепловыми прослоями, представленными супесями и в разной степени гумусированными почвами. Высокая влажность, характерная для климата Камчатки, а также значительное количество ежегодно отмирающей растительности болот и заболоченных территорий способствуют быстрому накоплению торфа; таким образом в торфяниках хорошо захораниваются даже маломощные пепловые прослои. Фактически мгновенно выпадающий вулканический пепел в условиях интенсивного торфонакопления со временем формирует четкие, изолированные сверху и снизу органикой прослои, почти не смешиваясь с медленнее накапливающимся в виде примеси эоловым и другим невулканогенным материалом. Это обеспечивает сохранение близких к первичному гранулометрического, минерального и химического составов тефры, а также хорошую выраженность даже маломощных, «в одно зерно», пепловых прослоев. В связи с этим в торфяниках четко различимо большее количество горизонтов погребенной тефры по сравнению с другими разрезами, расположенными даже ближе к источнику извержений (см. далее).

Торфяники дают прекрасную возможность датировать заключенные в них прослои тефры, а следовательно, и извержения вулканов, с которыми они ассоциируются, с помощью радиоуглеродного метода. Одно из неоспоримых преимуществ датирования углеродсодержащих прослоев в областях активного вулканизма - синхронность гибели органического вещества с вызвавшими ее вулканическими событиями. Тот факт, что воздействию вулканического пеплопада могут одновременно подвергаться значительные территории (до нескольких сотен квадратных километров), дает возможность дублировать радиоуглеродные образцы в различных, часто удаленных друг от друга литологических разнородных разрезах, скоррелированных по маркирующим прослоям тефры, а также датировать генетически разнородное органическое вещество на заведомо одних и тех же стратиграфических уровнях. Последнее особенно важно для оценки достоверности датирования, так как принято считать, что сходящиеся по разнородному материалу даты наиболее надежны [18, 21].

Авторами была поставлена задача - изучить опорный разрез маркирующих горизонтов пеплов для северо-восточного побережья Камчатки (районы пос. Усть-Камчатск, п-ова Камчатский мыс), идентифицировать и датировать в нем главные пепловые горизонты, а также установить характерные черты каждого из них. Это дало бы возможность «узнавать» данные пеплы в других разрезах этого района и с их помощью определять возраст различных форм рельефа и отложений. Детальное возрастное расчленение природных объектов северо-восточного побережья Камчатки стало насущной проблемой в связи с начатыми в этом районе исследованиями новейших тектонических движений и следов палеоцунами [15], работами по прогнозу цунами- и сейсмоопасности, а также по оценке степени опасности от вулканических пеплопадов для населения и проходящих поблизости российских и международных авиатрасс. Кроме того, реперный разрез датированных вулканических пеплов позволяет определить частоту пеплопадов в данном районе за последние несколько тысяч лет.

Таким опорным разрезом для рассматриваемого района оказался Черный Яр, представляющий собой торфяные обрывы - непрерывные естественные обнажения высотой 2,5-3 м, тянущиеся на 0,5 км вдоль обоих берегов реки Камчатки в 17-18 км

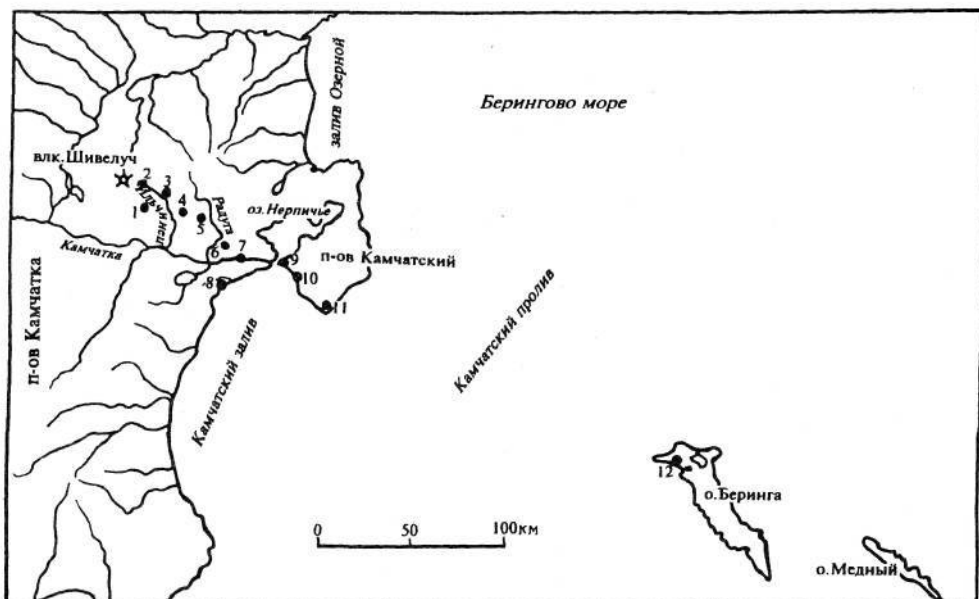


Рис. 1. Карта района работ. Разрезы: 1 - река Кабеку в 20 км к юго-юго-востоку от кратера вулкана Шивелуч; 2 - ручей Промойный в 15 км к востоку от кратера; 3 - река Ильичинец в 25 км к востоку-юго-востоку от кратера; 4 — хребет Кумроч в 35 км к юго-востоку от кратера; 5 - река Радуга в 45 км к юго-востоку от кратера; 6 - карьер на 27-м км дороги в 65 км к юго-востоку от кратера; 7 - Черный Яр в 75 км к юго-востоку от кратера; 8 - река Горбуша в 80 км к юго-востоку от кратера; 9 - поселок Крутоберегово в 95 км к юго-востоку от кратера; 10 - река Оленья в 105 км к юго-востоку от кратера; 11 — юго-восточное побережье п-ова Камчатского в 130 км к юго-востоку от кратера; 12 - сводный разрез по торфяникам о-ва Беринга (бухта Ракушечная) в 330 км к юго-востоку от кратера [11]

выше ее устья (поз. 7 на рис. 1). Его координаты $56^{\circ}15'$ с.ш., $162^{\circ}15'$ в.д. В настоящее время террасовидная поверхность торфяника представляет собой слабозаболоченный разнотравно-злаковый луг с редкими кустами ольховника, местами встречаются поляны кочкарниковой тундры под голубичными ягодниками. Основание торфяника - коричневатого- и серовато-сизые плотные суглинки, сильно обогащенные геммо-коричневым рассеянным органическим веществом. Их максимальная видимая мощность до уреза реки - до 0,5 м. Высота кровли суглинков над уровнем моря -2,5 м. В торфянике насчитывается >30 горизонтов погребенных пеплов различной мощности, цвета и гранулометрического состава (рис. 2, А). На фоне темного торфа прекрасно выделяются горизонты тонких палевых пеплов с примесью разнозернистого песка, мелкого гравия и единичных пемзовых лапилли (максимальный диаметр 1,2 см) мощностью от 7 до 1 см, а также пунтирные линзочки тонкой светлой тефры и «ниточки» гемных разнозернистых песков.

Первые представления о строении разреза Черного Яра отражены в работах [1, 3], авторы которых считают, что в геоморфологическом отношении Черный Яр - это высокая пойма р. Камчатки. Пачка суглинков, залегающая в основании обнажения, является пойменной фацией аллювия. Соотношение экологических групп диатомовых в исследованном комплексе суглинков аналогично таковому в современных комплексах старичного типа. Накопление осадков этого горизонта происходило в водоеме эвтрофно-олиготрофного типа с проточным режимом. Вероятно, таким водоемом могла быть озеро-старица, периодически сообщавшаяся с рекой; берега водоема были слабо заболочены. В названных выше работах приводится и несколько радио-

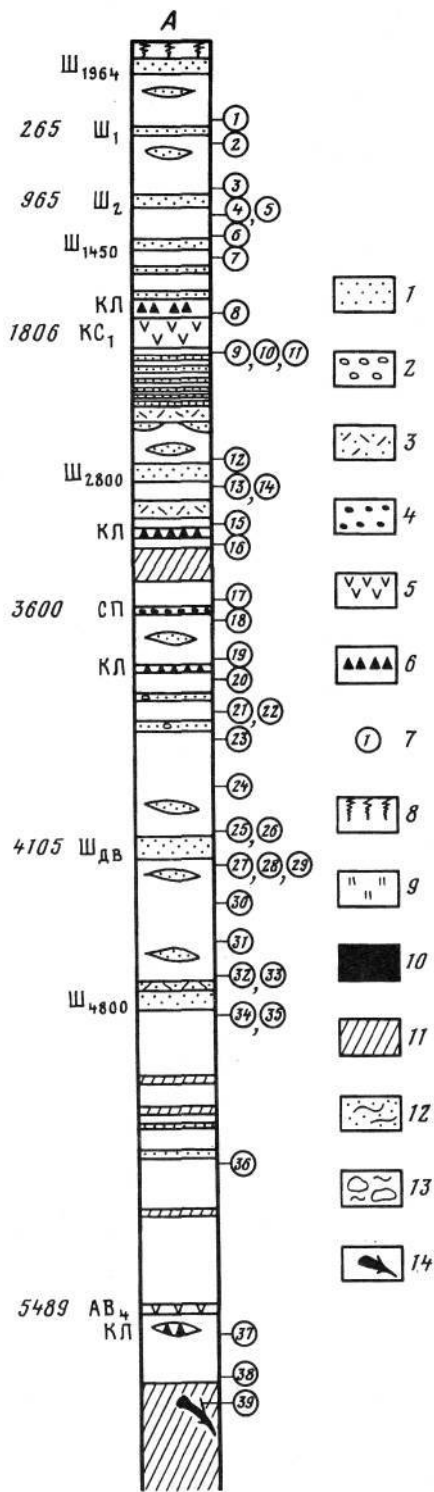


Рис. 2, А

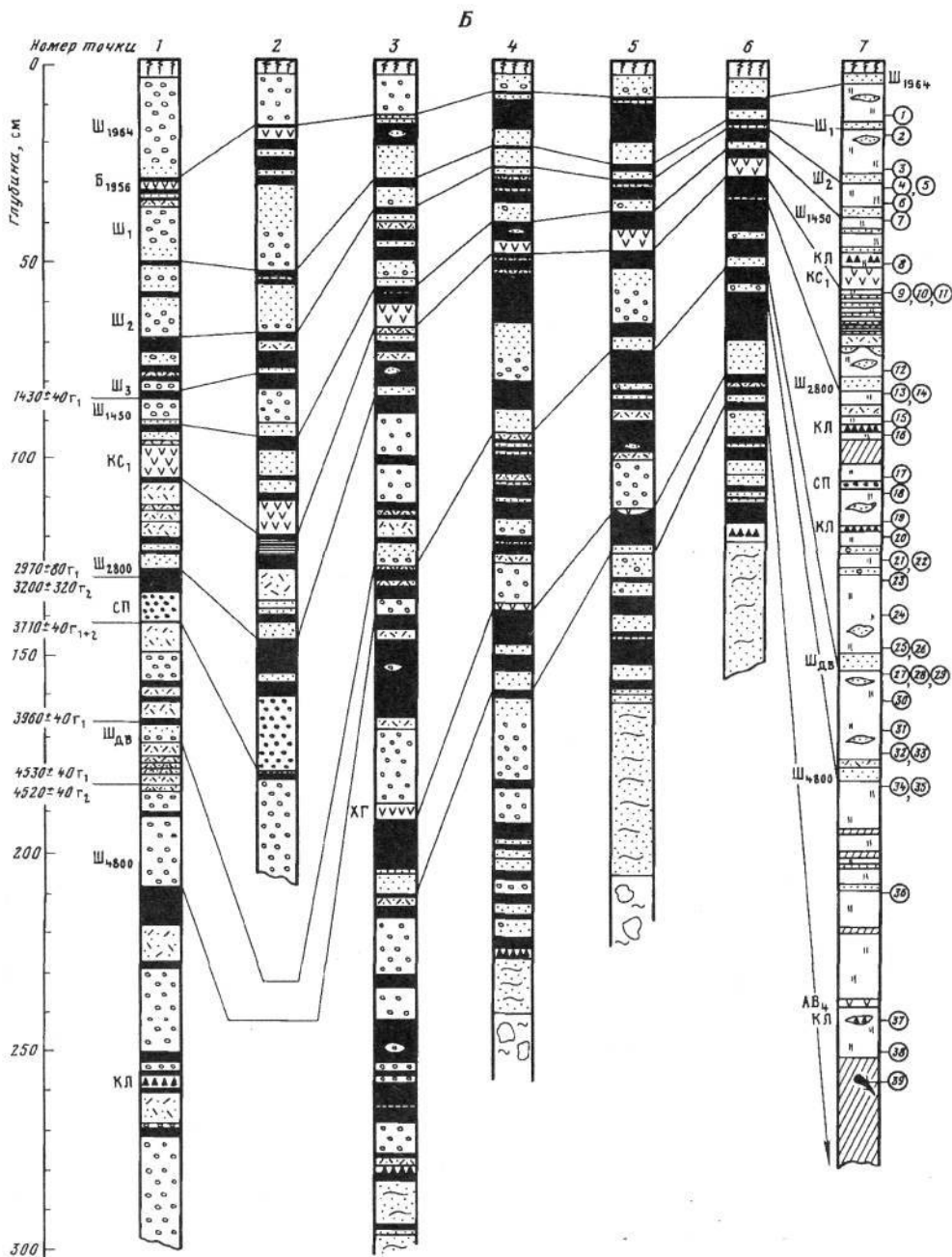


Рис. 2, Б

углеродных дат, в том числе дата начала формирования торфяного слоя: 6070 ± 70 ^{14}C -лет назад.

С тех пор Черный Яр неоднократно посещался тифрохронологами, и в том числе авторами настоящей работы. Идентифицировано несколько прослоев пеплов, в частности пепел извержения вулкана Шивелуч 1964 г., залегающий в кровле разреза торфяника [12], и пепел кальдерообразующего извержения вулкана Ксудач (КС₁) в средней его части, а также опубликованы даты, полученные в торфянике Черного Яра

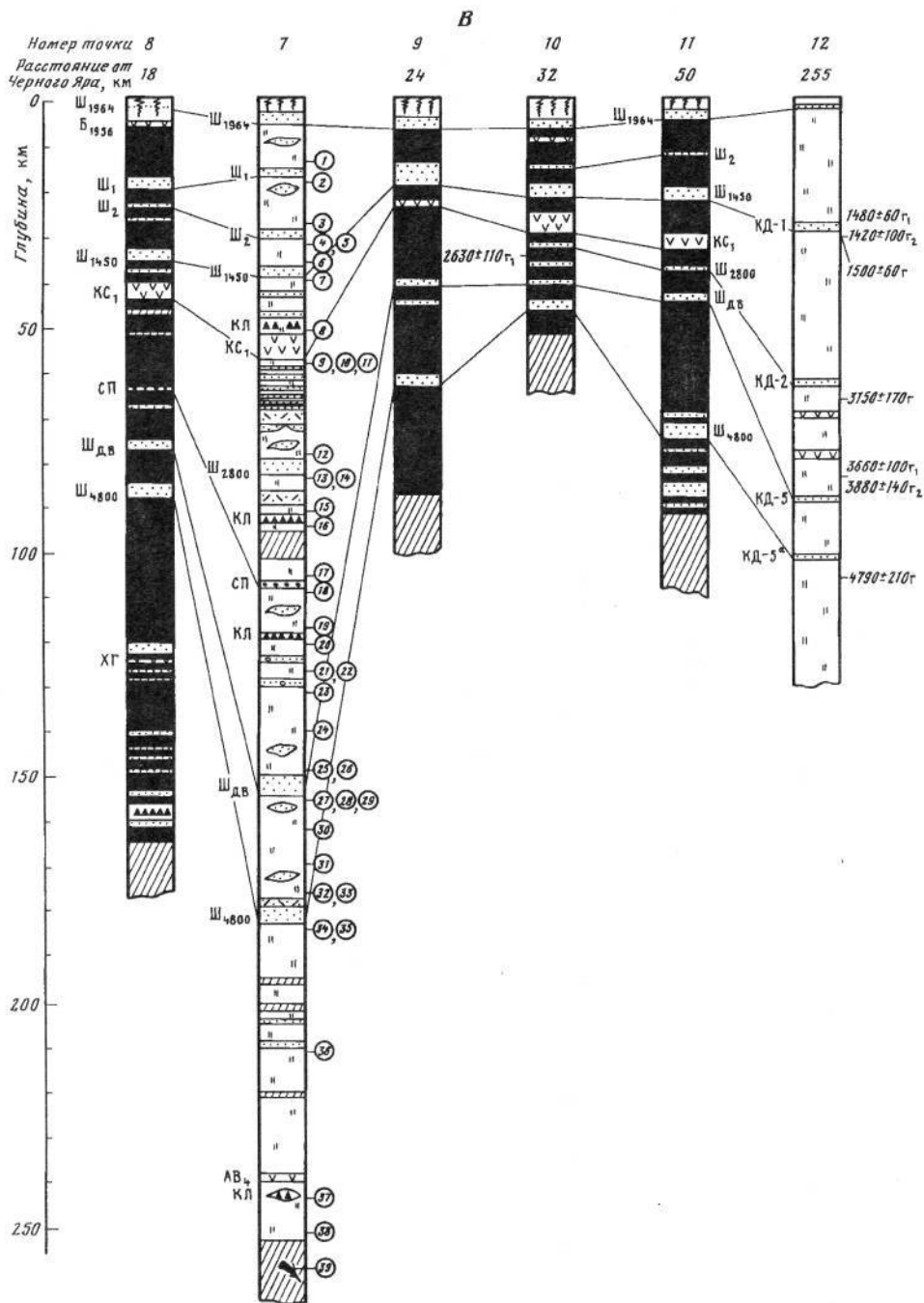


Рис. 2,В

для последнего из этих пеплов [4-6]. В то же время задача детального описания и датирования разреза оставалась невыполненной. Для завершения этой работы в 1993 г. проведены новое детальное описание разреза торфяника Черный Яр, дробный практически послойный отбор торфа на радиоуглеродное датирование и отбор образцов пеплов для определения их вещественного состава. Кроме того, проведено непосредственное полевое прослеживание горизонтов тефры по профилю от ближайшего

источника извержений (вулкана Шивелуч) до Черного Яра; обобщены и проанализированы результаты всех предыдущих исследований по этому району, как опубликованные [1, 3], так и неопубликованные (Брайцева, материалы 1976 г., устное сообщение).

Методы исследования

Тефрохронологические исследования. Задачей этих исследований было описание всех пепловых горизонтов в разрезе Черный Яр и установление их принадлежности к тем или иным вулканам, а также выявление наиболее выразительных пепловых прослоев и установление признаков, по которым они могли бы легко опознаваться в других разрезах этого района.

Ближайшим к Черному Яру эруптивным центром является вулкан Шивелуч (75 км) - один из наиболее активных вулканов Камчатки [14, 16], что позволило считать его наиболее вероятным источником большинства пепловых прослоев в исследуемом торфянике. В соответствии с этим предположением, как отмечено выше, авторами проложен профиль от вулкана Шивелуч к Черному Яру (рис. 1 и 2, *Б*), по которому изучены разрезы тефры через каждые 10-20 км, в результате чего стало возможным непосредственно проследить изменение мощности и гранулометрического состава определенных горизонтов тефры и уверенно идентифицировать пеплы вулкана Шивелуч в разрезе Черного Яра. Источники извержений других пеплов, не связанных с вулканом Шивелуч, устанавливались на основании изучения их вещественного состава и данных о возрасте, осях пеплопадов и вещественном составе пеплов голоценовых извержений других вулканов Камчатки [20].

Радиоуглеродное датирование. Методика детального радиоуглеродного датирования в областях современного вулканизма в применении к Камчатке разработана О.А. Брайцевой и Л.Д. Сулержицким и детально рассмотрена в ряде работ [18, 21]. Выпадающая тефра погребает травянистую, а в отдельных случаях, при значительных мощностях пирокластики, и кустарничковую растительность. При этом пирокластический материал, лишенный углерода, не «загрязняет» датируемый горизонт, а кроме того, при определенной мощности нарушает естественный процесс торфообразования, разделяя прослой торфа. На различных типах вулканических отложений углеродсодержащие горизонты начинают формироваться через неодинаковые промежутки времени и, как, в частности, следует из анализа радиоуглеродных дат в разрезе Черный Яр (см. далее), в районах выпадения маломощного тонкого пепла первый сантиметровой прослой органического вещества, перекрывающий новообразованный пепловый горизонт, образуется в течение 10-50 лет, что является минимальным значением ошибки при радиоуглеродном датировании. Таким образом, процесс торфообразования условно можно считать непрерывным. В идеальном случае, в разрезе, представляющем собой дробное переслаивание вулканогенных и углеродсодержащих горизонтов, можно получить валидные радиоуглеродные даты экспозиций как по подстилающему, так и по перекрывающему пепел органическому веществу.

Рис. 2. Сводный разрез торфяника Черный Яр (*Л*), тефростратиграфический профиль юго-восточного направления от кратера вулкана Шивелуч до разреза Черный Яр (*Б*) и тефростратиграфический профиль по линии река Горбуша - Черный Яр — п-ов Камчатский - о-в Беринга (*В*): 1 - пепел (от тонко- до грубозернистого) вулкана Шивелуч преимущественно андезитового состава; 2 — грубая тефра (гравий, лапилли) вулкана Шивелуч андезитового состава; 3 - отложения пирокластических волн (главным образом вулканическая пыль) вулкана Шивелуч; 4 - базальтовая разнородная тефра вулкана Шивелуч; 5 — тонко- и мелкозернистая транзитная тефра катастрофических эксплозивных извержений вулканов Безымянный (*Б₁₉₅₆*), Ксудач (*КС₁*) и Хангар (*ХГ*) в основном андезитового и дацитового состава; 6 — мелко- и среднезернистая транзитная тефра вулкана Ключевской (*КЛ*) базальтового состава; 7 - номера радиоуглеродных образцов соответственно таблице; 8 - дернина; 9 - торф и оторфованная почва; 10 - почва и гумусированная супесь; 11 - суглинок, 12 - водно-ледниковые отложения; 13 - морена; 14 - погребенная древесина

Радиоуглеродные даты отложений разреза Черный Яр

Номер образца	Радиоуглеродная дата	Лабораторный номер образца	Год отбора
1	250 ± 50 г	ГИН-6315	1990
2	630 ± 100 г ₂	ГИН-6316	1990
3	880 ± 40 г ₁	ГИН-6317	1990
4	760 ± 50 г ₂ 630 ± 40 г ₁ 940 ± 90 г ₂	ГИН-6318	1990
5	930 ± 60 г ₂₊₃	ИВАН-446	1976
6	1370 ± 40 г ₂	ГИН-6319	1990
7	1490 ± 40 г ₁ 1640 ± 120 г ₂	ГИН-6320	1990
8	1690 ± 80 г ₁ 2260 ± 90 г ₂	ГИН-6321	1990
9	1890 ± 40 г ₁ 1910 ± 70 г ₂	ГИН-6322	1990
10	1880 ± 60 г ₁ 1820 ± 120 г ₂	ИВАН-450	1976
11	1980 ± 130 г ₁ 1950 ± 60 г ₂ 1950 ± 60 г ₂	ИВАН-744	1984
12	2400 ± 50 г ₁ 2800 ± 90 г ₂	ГИН-6323	1990
13	2820 ± 80 г ₁ 3360 ± 110 г ₂	ГИН-6324	1990
14	3230 ± 170 г ₂₊₃	ИВАН-449	1976
15	3090 ± 50 г ₁	ГИН-7821	1993
16	3490 ± 100 г ₁ 3290 ± 70 г ₂	ГИН-7822	1993
17	3480 ± 50 г ₁ 3550 ± 70 г ₂	ГИН-7823	1993
18	3650 ± 50 г ₁	ГИН-7824	1993
19	3530 ± 40 г ₁ 3720 ± 130 г ₂	ГИН-7825	1993
20	3810 ± 40 г ₁ 4180 ± 100 г ₂	ГИН-7826	1993
21	3740 ± 50 г ₁	ГИН-7827	1993
22	4020 ± 40 г ₁ 3840 ± 40 г ₂	ГИН-6325	1990
23	3100 ± 110 г ₁ 4080 ± 90 г ₂	ГИН-7828	1993
24	3940 ± 170 г ₁ 4240 ± 100 г ₂	ГИН-7829	1993
25	4240 ± 100 г ₁ 3760 ± 120 г ₂	ГИН-7830	1993
26	4140 ± 100 г	ИВАН-448	1978
27	4100 ± 100 г ₁ 4300 ± 110 г ₂	ГИН-7831	1993
28	4210 ± 80 г ₁ 4170 ± 80 г ₂	ГИН-6326	1990
29	4840 ± 10 г	ИВАН-435	1976
30	4670 ± 110 г ₁ 4320 ± 50 г ₂	ГИН-7832	1993
31	4340 ± 100 г ₁ 4650 ± 100 г ₂	ГИН-7833	1993
32	4420 ± 100 г ₁	ИВАН-447	1976

(продолжение таблицы)

33	4810 ± 80 Г ₂	ГИН-7834	1993
34	4910 ± 140 Г ₂	ГИН-6327	1990
	4870 ± 50 Г ₂		
35	5390 ± 320 Г ₁₊₂	ГИН-7835	1993
36	4370 ± 80 Г ₁	ГИН-6328	1990
	5200 ± 80 Г ₂		
37	5490 ± 40 Г ₁	ГИН-6330	1990
	5660 ± 90 Г ₂		
38	6070 ± 70 Г _г	ГИН-291	1967
39	6100 ± 50 _{др}	ГИН-6329	1990

Примечание: ГИН - Геологический институт АН СССР; ИВАН - Институт вулканологии ДВО АН СССР.

Чтобы максимально точно определить возраст пепла, из каждого образца торфа датировались последовательные щелочные вытяжки органических веществ. Как показывает практика, крайние значения возраста, полученные по вытяжкам, приближаются ко времени начала и окончания формирования отобранного горизонта торфа [18, 21]. Таким образом, наиболее молодая валидная радиоуглеродная дата, полученная непосредственно под датироваемым вулканогенным горизонтом, будет максимально приближена ко времени отложения последнего, а наиболее древняя над пирокластикой - ко времени начала формирования новой органики. Следовательно, даты, полученные под и над горизонтом пепла, как бы зажимают его в определенный возрастной интервал.

В настоящей работе приводятся даты, полученные авторами в 1990 и 1993 гг. в общей сложности по 30 образцам торфа (мощность единичной пробы не превышала 3 см) и 1 образцу древесины (плавник из подстилающих суглинков) (рис. 2, А; см. таблицу). Кроме того, в сводной таблице приведены даты, полученные Л.Д. Сулержицким по образцам О.А. Брайцевой отбора 1976 г., а также даты, опубликованные в работах [1, 4, 6]. Всего в настоящей статье использованы 64 радиоуглеродные датировки. Обработку радиоуглеродных образцов и собственно датирование проводили по стандартной методике ГИН РАН в лаборатории геохимии изотопов и геохронологии под непосредственным руководством Л.Д. Сулержицкого. Современные корни, пронизывающие торфяную толщу, в процессе радиоуглеродной обработки образцов удаляются и, таким образом, не изменяют истинный радиоуглеродный возраст торфа. По возможности из одного образца получались две щелочные вытяжки органического вещества (холодная - Г₁ и горячая - Г₂), как правило, характеризующие время начала и окончания формирования опробованного горизонта торфа. При малом количестве углерода в одной вытяжке обе вытяжки суммировались и получалась средневзвешенная по количеству углерода дата (Г₁₊₂, см. таблицу, обр. № 35), не дающая представления о длительности формирования датированного горизонта. Образец № 39 (см. таблицу), представляющий собой погребенную древесину ольхи (др), анализировали непосредственно по самой древесине, т.е. определяли время гибели растения. Кроме того, использованы шесть радиоуглеродных датировок (см. таблицу), выполненных в радиоуглеродной лаборатории Института вулканологии ДВО РАН по аналогичной методике. Для двух образцов приготавливали единственную гумусовую вытяжку (г, обр. № 29 и 38), для двух других дата была получена по сумме двух горячих вытяжек (Г₂₊₃, обр. № 5 и 14).

Обсуждение результатов

Палеогеография района исследований. Одним из важнейших палеогеографических событий голоцена в низовьях р. Камчатка была завершившаяся в первой его половине

морская трансгрессия, вызванная эвстатическим подъемом уровня Мирового океана в результате таяния ледников последней стадии оледенения [13]. В максимальную фазу трансгрессии в этом районе были распространены глубоко вдававшиеся в сушу морские заливы, в постмаксимальную - лагуны, сменившиеся затем озерами. Исходя из дат 6000-6100 ¹⁴C-лет, полученных для кровли суглинков и базальных слоев торфа в разрезе Черный Яр (рис. 2, А; см. таблицу), начало торфонакопления на высокой пойме р. Камчатка и в ее низовьях можно уверенно датировать временем ~6000 лет назад (здесь и далее приводится радиоуглеродный возраст), что совпадает с началом голоценового климатического оптимума (4500-6000 лет назад) [10, 17]. В это время старично-озерные условия осадконакопления (фацция суглинков) сменяются здесь аэральными, способствующими накоплению торфяной толщи. По-видимому, это произошло вследствие дальнейшего понижения уровня моря. Наличие (в основном в нижней части торфяника) глинистых и суглинистых, в значительной степени оторфованных, маломощных прослоев свидетельствует о периодическом непродолжительном заливаннии пойменного торфяника и частичном временном восстановлении старичных условий. Наиболее значительный эпизод такого рода относится к ~3500 лет назад (рис. 2, А).

Вулканические пеплы в разрезе торфяника Черный Яр. В разрезе торфяника Черный Яр удалось выделить и описать 34 горизонта вулканических пеплов (рис. 2, А). Для идентификации пеплов (т.е. для установления вулканов, с извержениями которых они связаны) проложен профиль от детально изученного разреза (поз. 1 на рис. 1) на подножии вулкана Шивелуч к Черному Яру (рис. 2, Б), по которому почвенно-пирокластические чехлы были описаны через каждые 10-20 км. Это позволило проследить изменения мощности, гранулометрического состава и особенностей стратификации в горизонтах тефры вулкана Шивелуч и уверенно опознать их в разрезе Черного Яра. Используя принятую номенклатуру для ранее изученных крупнейших извержений вулкана Шивелуч [4, 7, 20], авторы так же маркируют их тефру: Ш₁₉₆₄,

Ш₁, Ш₂, Ш₃, Ш_{д.в.}, а их радиоуглеродный возраст дан по работе [18]. Для остальных пеплов вулкана Шивелуч, которые предлагается использовать как региональные маркеры, в качестве индекса приведен их округленный (полученный только по датам, приводимым в настоящей работе) радиоуглеродный возраст, например Ш₂₈₀₀. Маркирующий горизонт сыпучей базальтовой тефры Шивелуча, детально рассмотренный в работе [8] и получивший рабочее название «сыпучка», имеет на разрезах индекс СП.

Тефра вулкана Шивелуч имеет в разрезе Черного Яра различную крупность материала. Преобладают горизонты, сложенные преимущественно вулканическим песком (от мелко- до крупнозернистого) цвета "соли с перцем" (например, горизонты Ш₁₉₆₄, а также потерявший свою двучленность, характерную для разрезов Ключевской группы вулканов [6], Ш₂ и др.). Это - типичный грубый пепел вулкана Шивелуч, обогащенный минералами и обедненный вулканическим стеклом [12], что объясняется спецификой фрагментации расплава, содержащего большое количество минеральных зерен, и последующей эоловой сепарацией тефры. Такой пепел по составу обычно отвечает андезитобазальтам или основным андезитам [20]. По мере приближения к вулкану Шивелуч крупность материала, слагающего пепловые горизонты, увеличивается (рис. 2, Б), в них появляются пемзовые гравий и лапилли, по составу отвечающие андезитам [20]. При удалении от Черного Яра (и, соответственно, от вулкана) на восток (рис. 2,5) в описываемых горизонтах тефры увеличивается доля тонкого, преимущественно стекловатого материала и пепел становится андезитовым [12].

Некоторые горизонты тефры вулкана Шивелуч в разрезе Черный Яр представлены тонким пеплом преимущественно палевого цвета (например, Ш₁, Ш_{д.в.}), в других — отмечена примесь пемзовых гравия и, реже, лапилли белого цвета максимально до 1,2 см в диаметре (рис. 2, А). Пеплы вулкана Шивелуч содержат зеленую роговую обманку и отвечают по составу умеренно-калиевой серии пород, хотя грубые пеплы,

обогащенные минеральными зернами и имеющие наиболее основной состав, иногда обнаруживают несколько пониженное содержание K_2O [20].

Несколько особняком от описанных пеплов Шивелуча стоит уникальный горизонт темно-серой базальтовой тефры этого вулкана (СП). Он прекрасно выражен на подножии вулкана (рис. 2,Б, поз. 1 и 2) в качестве стратифицированного грубозернистого песка с обломками плотных пород и прослеживается вплоть до восточного побережья п-ова Камчатка (рис. 2,5, поз. 8). В разрезе Черный Яр его размерность колеблется от тонко- до мелкозернистого песка. От других базальтовых пеплов этого района он отличается повышенным содержанием калия и магния, что позволяет также использовать его как маркер, несмотря на худшую по сравнению с остальными пеплами вулкана Шивелуч выраженность в разрезах вследствие его темной окраски.

В разрезе Черный Яр зафиксировано 28 горизонтов пеплов извержений вулкана Шивелуч, что гораздо больше, чем даже в расположенных ближе к вулкану разрезах почвенно-пирокластического чехла, где межпепловые прослои представлены в различной степени гумусированными супесями (рис. 2,Б). Кроме того, на основании изучения вещественного состава, данных о возрасте (см. далее) и осях пеплопадов [20] в разрезе Черный Яр идентифицированы и пеплы других вулканов (рис. 2,А). В верхней части разреза залегает тонкий палевый пепел (мощностью 4-7 см) кальдерообразующего извержения вулкана Ксудач ($КС_1$), по составу отвечающий низкокалиевым дупироксеновым дацитам [4, 20]. В низах торфяника - маломощный (0,5 см) ярко-желтый тонкий пепел вулкана Авачинский (извержение $АВ_4$), имеющий состав низкокалиевого андезита и содержащий роговую обманку [19, 20]. Кроме того, в разных частях разреза залегает несколько прослоев черных мелко- и среднезернистых песков, по-видимому, связанных с извержениями вулкана Ключевской (КЛ) или его побочных прорывов и отвечающих по составу умеренно калиевому базальту. Встречающийся в других рассматриваемых разрезах тонкий светло-серый пепел извержения вулкана Безымянный 30 марта 1956 г. показан индексом B_{1956} , а тонко-мелкозернистый светло-желтый пепел извержения вулкана Хангар - индексом ХГ [18].

Радиоуглеродное датирование. Все образцы по разрезу Черный Яр с полученными в разные годы датами представлены в таблице и под соответствующими номерами показаны на рис. 2,А. Основной задачей радиоуглеродного датирования изучаемого разреза было получение как можно более точных датировок для прослоев пеплов. Кроме того, предполагалось получить данные по методическим вопросам, касающимся датирования мощных межпепловых прослоев, представленных торфом или почвой, которые накапливались практически без перерыва в течение длительного времени.

Проблема достоверности радиоуглеродного датирования в областях активного вулканизма неоднократно обсуждалась в печати [18, 21]. В настоящей работе надежность полученных радиоуглеродных дат определялась при следующих соответствиях: 1) сходимости дат, полученных по вытяжкам, из подстилающего и перекрывающего пепловый прослой горизонтов; 2) сходимости дат, полученных по образцам из одного и того же горизонта торфа в 1976, 1984, 1990 и 1993 гг.; 3) соответствии полученных дат опубликованной ранее дате начала формирования торфяника Черного Яра [1]; 4) соответствии полученных дат ранее установленным возрастам маркирующих пеплов $Ш_1$, $Ш_2$, $КС_1$, ХГ, $АВ_4$ [20]; 5) сходимости дат, полученных для единых стратиграфических уровней в других разрезах изучаемого района (рис. 2,Б и В).

Особенно ярко последний пункт подтверждается при сопоставлении дат, полученных на подножии вулкана Шивелуч [15] (например, даты: между $Ш_3$ и $Ш_{1450}$ - 1430 ± 40 г (ИВАН-258); $Ш_{2800}$ и СП - 2970 ± 80 г₁ и 3200 ± 320 г₂ (ГИН-7836); под СП - 3710 ± 40 г₁₊₂ (ГИН-7845); над $Ш_{дв}$ - 3960 ± 40 г₁ (ГИН-7850) и между $Ш_{дв}$ и $Ш_{4800}$ - 4530 ± 40 г, и 4520 ± 40 г₂ (ГИН-7842)) и на о-ве Беринга [10].

Заведомо невалидные даты, т.е. не укладывающиеся в статистическую ошибку, отбрасывали. В связи с тем, что невалидной оказывалась дата по какой-то одной

вытяжке из одного образца (а не обе вытяжки одновременно), можно, по-видимому, исключить природную загрязненность образцов, но все ошибки отнести к процессу лабораторной обработки.

Все даты, полученные для торфяника Черный Яр в различные годы, укладываются в последние 6000 лет, что согласуется с датой, полученной ранее для основания торфяника (6070 ± 70). В целом даты обнаруживают постепенное удревание сверху вниз и отсутствие значительных хронологических инверсий (рис. 2, А).

Выше указано, что даты, полученные по щелочным вытяжкам из определенного образца, приближаются ко времени начала и конца формирования опробованного горизонта, в то время как дата, полученная по сумме вытяжек, может давать любое значение из этого временного интервала [21]. И действительно, это хорошо видно при сопоставлении дат, полученных в разные годы. Так, по последовательным щелочным вытяжкам из одного и того же горизонта торфа получены две даты: $2820 + 80$ и 3360 ± 110 (обр. № 13; рис. 2, А; см. таблицу), которые, по-видимому, отражают длительность формирования данного горизонта торфа. При датировании этого же интервала в 1976 г. по сумме вытяжек получена дата 3230 ± 170 (обр. № 14), укладываемая в указанный возрастной отрезок. Она дает лишь приближенное представление о возрасте вышележащего горизонта тефры, в отличие от самой молодой даты из полученных по вытяжкам. Над горизонтом Ш_{дв} по вытяжкам получены даты 4240 ± 100 и 3760 ± 120 (обр. № 25). По сумме вытяжек из этого же горизонта торфа получена дата 4140 ± 100 (обр. № 26), также попадающая в интервал между датами по отдельным вытяжкам. Приведенные примеры показывают, что для того, чтобы получить более точное значение возраста для пеплов, подстилающих и перекрывающих датировемый горизонт торфа, необходимо составить представление о длительности его формирования, т.е. выполнить датирование последовательных щелочных вытяжек из каждого образца.

Казалось бы, для наиболее точного датирования какого-либо слоя пепла достаточно отобрать и датировать как можно более тонкий слой органики под или над ним. Однако полученные данные показывают, что одно это не может обеспечить достаточной точности, так как вследствие особенностей торфонакопления даже в маломощном образце, отобранном из длительно формировавшегося горизонта торфа, присутствует разновозрастное органическое вещество. Так, дают разброс возраста даты, полученные по органике из самой кровли мощного горизонта торфа (например, обр. № 27), и даты, полученные по маломощному слою органики из самой подошвы горизонта торфа (обр. № 3, 21 и 25).

Представляет интерес рассмотреть результаты датирования мощного (25-30 см) горизонта торфа под пеплом Ш_{дв} (рис. 2, А). Судя по полученным датам, он формировался в интервале от 4900 до 4100 лет назад, т.е. в течение ~800 лет. Фактически во всех пробах из этого горизонта присутствует разновозрастное органическое вещество, чему не смогли препятствовать два слабых пеплопада, зафиксированных в разрезе маломощными линзовидными прослоями тефры. Дата 4840 ± 10 (обр. № 29), полученная по сумме вытяжек и существенно более древняя, чем другие даты для этого же стратиграфического уровня (рис. 2, А), тем не менее должна быть признана валидной, так как она укладывается во временной интервал формирования данного горизонта торфа.

В тех случаях, когда значения дат, полученных над и под прослоем пепла, перекрываются (например, обр. № 3 и 4), можно предположить, что отложение маломощных прослоев пепла не приводило к гибели растений и прерыванию торфонакопления.

Нижняя часть торфяника под пеплом Ш₄₈₀₀ датирована по сравнению с остальным разрезом менее дробно. В данной толще представлено несколько маломощных горизонтов тефры и суглинков, которые, судя по перекрывающимся значениям дат, не прерывали торфонакопления. Для кровли описываемого горизонта получена дата 5390 ± 320 (обр. № 35), казалось бы, слишком древняя по сравнению с вышележащими

датами. Но, учитывая то, что дата получена по сумме щелочных вытяжек, она вполне укладывается в значения дат, полученных для середины (обр. № 36) и базальных слоев (обр. № 37) торфяника.

В целом же, как видно на рис. 2, *А*, более древние даты, полученные над горизонтом пепла, хорошо согласуются с наиболее молодыми из-под соответствующего горизонта (например, обр. № 12 и 13; 26 и 27) или, по крайней мере, они сходятся в пределах ошибки. В этой связи можно считать, что при определении возраста пеплов, захороненных в торфяниках, целесообразно датировать образцы торфа над и под пеплом по последовательным щелочным вытяжкам. По-видимому, так же следует датировать и другие горизонты отложений, захороненных в торфяниках (эоловых, аллювиальных и пр.).

Учитывая хорошую сходимость подстилающих и перекрывающих пеплы дат, полученных в Черном Яру, а также их соответствие результатам радиоуглеродного датирования отложений на подножии вулкана Шивелуч [16], авторы позволили себе вывести осредненный радиоуглеродный возраст для некоторых пеплов Шивелуча юго-восточного сектора их распространения: $Ш_{1450}$, $Ш_{2800}$, $СП_{(3600)}$ и $Ш_{4800}$ - Однако работы по уточнению возрастов ведутся, и их результаты будут представлены. Пеплы, для которых уже получен точный радиоуглеродный возраст ($Ш_1$, $Ш_2$, $Ш_{дв}$, а также $КС_1$ и $АВ_4$), приводятся согласно публикации [20].

Тефрохронология торфяника Черный Яр и частота сильных пеплопадов на северо-восточном побережье Камчатки. В разрезе торфяника Черный Яр удалось датировать ряд пеплов, связанных с извержениями вулканов Шивелуч, Ключевской, Ксудач и Авачинский (рис. 2, *А*). Полученные результаты хорошо согласуются с датами для соответствующих пеплов вулкана Шивелуч в разрезах на его подножии и на побережье (рис. 2, *Б* и *В*) и ранее полученными данными о возрасте пеплов $КС_1$ и $АВ_4$ [4, 5, 20].

Составив представление о том, пеплы какого возраста и каких вулканов отложились в разрезе Черный Яр, авторы смогли провести их корреляцию с пеплами, встреченными в разрезах тихоокеанского побережья этого сектора (рис. 2, *В*). Наиболее перспективными в качестве маркеров для данного района представляются уверенно распознающиеся не только в торфянике, но и в обычных почвенно-пирокластических чехлах: $Ш_{1964}$, $Ш_2$, $Ш_{1450}$, $Ш_{2800}$, $Ш_{4800}$, представленные грубым пеплом (мелко-крупнозернистым вулканическим песком цвета "соли с перцем") и $Ш_1$ и $Ш_{дв}$, представленные преимущественно тонким пеплом (рис. 2, *В*). Таким образом, с помощью этих маркеров стало возможно и тефрохронологическое датирование отложений всего исследуемого района. Это тем более важно, что почвенно-пирокластические чехлы побережья обеднены органикой и, следовательно, не могут быть продатированы с помощью радиоуглеродного метода. Единственная радиоуглеродная дата 2830 ± 110 г. (ГИН-6313/956) (рис. 2, *В*, т. 10), которую удалось получить в почвенно-пирокластических чехлах п-ова Камчатский мыс, подстилает пепел $Ш_{2800}$.

Авторами впервые на Камчатке применен метод тефрохронологического датирования при определении возраста палеосейсмодислокаций, отложений цунами и эпизодов сейсмостектонических поднятий, происшедших на п-ове Камчатский за последние 2000 лет [15]. Для этого использовали четыре маркирующих горизонта тефры: $Ш_{1964}$, $Ш_2$, $Ш_{1450}$ и $КС_1$ позволивших скоррелировать и продатировать три горизонта отложений песка цунами, а также обвальные толщи мысов Камчатский и Африка.

Благодаря выполненным исследованиям удалось также выяснить, пеплы каких именно извержений вулкана Шивелуч залегают в верхней части торфяника о-ва Беринга (Командорские острова), который расположен как раз на продолжении профиля вулкан Шивелуч — Черный Яр (рис. 1 и 2, *В*). В кровле разреза обнаружен тонкий пепел извержения 1964 г. ($Ш_{1964}$), залегающий маломощными линзами. Ранее считалось, что пепел этого извержения не выражен в торфянике вследствие своей малой мощности [11], хотя имеются данные о его выпадении [9]. Далее сверху вниз

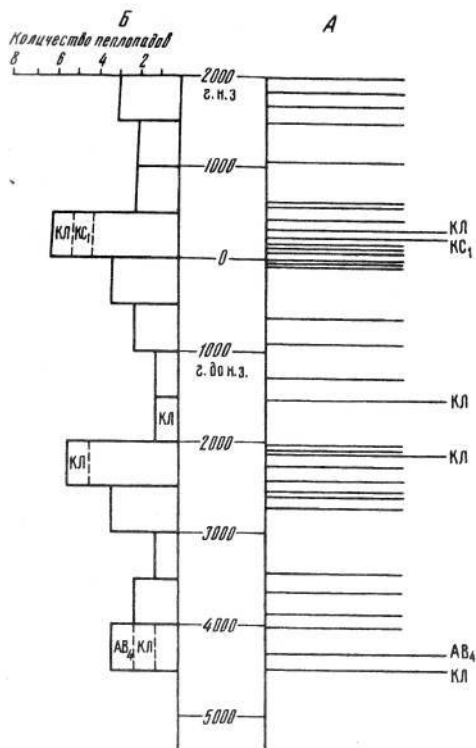


Рис. 3

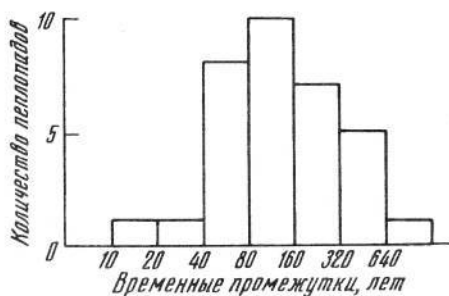


Рис. 4

Рис. 3. Частота пеплопадов (А) в календарном времени: короткие линии - пеплопады вулкана Шивелуч, длинные - пеплопады вулканов соответственно подписанным индексам. Б - осредненные частоты пеплопадов по 500-летним циклам: неподписанные секторы характеризуют пеплопады вулкана Шивелуч, подписанные - пеплопады вулканов соответственно индексам

Рис. 4. Длительность временных промежутков между пеплопадами в календарном времени

залегают пеплы $Ш_{1450}$ и $Ш_{2800}$ (соответственно КД-1 и КД-2 в работе [11]). Отметим, что и здесь даты 1500 ± 60 и 3150 ± 170 , приводимые в указанной выше работе и полученные по сумме вытяжек, дают лишь приблизительное представление о возрасте вышележащих пепловых прослоев. Пепел КД-4 не может принадлежать вулкану Шивелуч, как это предполагалось ранее [11], так как во время его отложения ~ 3500 лет назад (возраст согласно работе [8]) у вулкана Шивелуч не было сильных извержений материала кислого состава с осями пеплопадов в этом направлении, что следует из изучения разреза Черный Яр (рис. 2, А). Кроме того, пепел КД-4 по составу отвечает низкокалиевой серии пород (табл. 1 в работе [11]), что отличает его от умеренно калиевых пеплов вулкана Шивелуч [20]. Пепел КД-5 — это $Ш_{дв}$ по индексации авторов (рис. 2, А), имеющий возраст 4105 лет [20]. Залегающие ниже по разрезу пеплы из торфяника о-ва Беринга, описанного в работе [11], древнее торфяника Черный Яр.

Чтобы получить представление о частоте сильных пеплопадов, необходимо перейти от радиоуглеродного возраста пеплов к календарному, т.е. откалибровать радиоуглеродный возраст, что и проведено по общепринятой программе [22]. Для калибровки использовали радиоуглеродные даты по вытяжкам из образцов разреза

Черный Яр. Полученные календарные возрасты горизонтов тефры в торфянике Черный Яр указывают на неравномерный характер их выпадения во времени: периоды с относительно высокой частотой пеплопадов чередовались с достаточно длительными (300-600 и до 700 календарных лет) периодами, когда выпадания пепла не происходило (рис. 3). Максимальная частота сильных пеплопадов (11 за 700 календарных лет) имела место в интервале -100 г. до н.э. - 600 г. н.э.

При формальном осреднении по 500-летним этапам за последние 6500 календарных лет самое большое количество пеплопадов за такой временной отрезок не превышало шести (от 0 до 500 г.н.э.). Для произвольно выбранного этапа подобной длительности количество сильных пеплопадов достигало девяти (100 г. до н.э. - 400 г. н.э.).

Распределение рассчитанных временных интервалов между пеплопадами показано на рис. 4, где хорошо видно, что треть всех интервалов заключена между 80 и 160 годами (10 интервалов из 33). Среднюю частоту вулканических пеплопадов для района торфяника Черный Яр и расположенного поблизости поселка Усть-Камчатск по выявленным и датированным в исследованных разрезах горизонтам тефры (за последние 6500 лет отложилось 34 горизонта тефры) можно примерно оценить следующей величиной: один пеплопад за 191 год. Близкое значение получено и для последнего этапа интенсификации пеплопадов, начиная с Ш₃, который включает и современную эпоху; один пеплопад за ~186 лет, при разбросе длительности конкретных промежутков между пеплопадами от 148 до 416 лет. Основываясь на этом, можно предполагать, что ближайший будущий сильный пеплопад произойдет здесь не ранее второй половины XXI века.

Следует отметить, что сделанный вывод относится к сильным пеплопадам, оставляющим в разрезах самостоятельные прослои. Что касается более слабых пеплопадов, то они происходили и будут происходить здесь в несколько раз чаще. При этом они могут быть связаны как с относительно близко расположенными вулканами Северной группы (Шивелуч, Ключевской, Безымянный), так и с удаленными вулканами Камчатки. Подобное предположение хорошо подкрепляется сведениями о частоте пеплопадов, наблюдавшихся в низовьях реки Камчатка в XIX-XX вв., вплоть до последних лет. В частности, пеплопады, не зафиксированные в разрезах вследствие малых мощностей выпавшего пепла, отмечались там в 1907 г. (от вулкана Ксудач); 1955, 1993, 1995 (от вулкана Безымянный); 1990 и 1994 (от вулкана Ключевской); 1990 и 1993 гг. (от вулкана Шивелуч).

Настоящая работа выполнена благодаря поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Государственной научно-технической программы "Глобальные изменения природной среды и климата". Авторы выражают благодарность О.А. Брайцевой и Л.Д. Сулержицкому как за предоставление материалов, так и за ценные рекомендации, полученные в процессе работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брайцева О.А., Евтеева И.С., Лупкина Е.Г., Сулержицкий Л.Д. О расчленении и абсолютной геохронологии голоценовых торфяников Камчатки // Докл. АН СССР. Сер. геол. 1973. Т. 208. № 4. С. 916-919.
2. Брайцева О.А., Литасова С.Н., Пономаренко А.К. Применение тефрохронологических методов для датирования опорной стоянки на Восточной Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1983. № 5. С. 92-96.
3. Брайцева О.А., Мелекесцев ИВ., Евтеева И.С., Лупкина Е.Г. Стратиграфия четвертичных отложений и оледенения Камчатки. М.: Наука, 1968. 227 с.
4. Брайцева О.А., Мелекесцев ИВ., Пономарева ВВ., Кирьянов В.Ю. Последнее кальдерообразующее извержение на Камчатке (вулкан Ксудач) 1700-1800 ¹⁴С-лет назад // Вулканология и сейсмология. 1995. № 2. С. 30-49.
5. Брайцева О.А., Мелекесцев ИВ., Пономарева ВВ. и др. Возраст действующих вулканов Курило-Камчатского региона // Вулканология и сейсмология. 1994. № 4-5. С. 5-32.

6. *Брайцева О.А., Сулержицкий Л.Д., Литасова С.Н., Гребзды Э.И.* Радиоуглеродные даты отложений голоценовых почвенно-пирокластических чехлов Ключевской группы вулканов // *Вулканология и сейсмология*. 1984. № 2. С. 110-116.
7. *Брайцева О.А., Сулержицкий Л.Д., Пономарева ВВ., Мелекесцев И.В.* Геохронология крупнейших эксплозивных извержений Камчатки в голоцене и их отражение в Гренландском ледниковом щите // *Докл. РАН. Сер. геол.* 1997. Т. 352. № 4.
8. *Волынец О.Н., Пономарева ВВ., Бабанский А.Д.* Проявления магнезиальных базальтов в голоценовой деятельности андезитового вулкана Шивелуч, Камчатка, Россия // *Петрология*. 1997. № 2. С. 206-221.
9. *Горшков ГС, Дубик Ю.М.* Направленный взрыв на вулкане Шивелуч // *Вулканы и извержения*. М.: Наука, 1969. С. 3-37.
10. *Егорова И.А.* История развития растительности Камчатки в голоцене // *Развитие природы территории СССР в позднем плейстоцене и голоцене*. М.: Наука, 1982. С. 52-76.
11. *Кириянов В.Ю., Егорова И.А., Литасова С.П.* Вулканические пеплы на о. Беринга (Командорские о-ва) от голоценовых извержений Камчатки // *Вулканология и сейсмология*. 1986. № 6. С. 18-28.
12. *Кириянов В.Ю., Соловьева Н.А.* Изменение вещественного состава вулканических пеплов в результате гравитационной эоловой дифференциации // *Вулканология и сейсмология*. 1990. №4. С. 10-19.
13. *Мелекесцев ИВ.* К вопросу о строении долины реки Камчатки // *Вопросы географии Камчатки*. 1963. Вып. 1. С. 64-68.
14. *Мелекесцев ИВ., Волынец О.Н., Ермаков В.А. и др.* Вулкан Шивелуч // *Действующие вулканы Камчатки*. Т. 1. М.: Наука, 1991. С. 84-92.
15. *Мелекесцев И.В., Курбатов А.В., Певзнер М.М., Сулержицкий ЛД.* "Доисторические" цунами и сильные землетрясения на полуострове Камчатском (Камчатка) по данным тefрохронологических исследований // *Вулканология и сейсмология*. 1994. № 4-5. С. 106-115.
16. *Певзнер ММ.* История эруптивной деятельности вулкана Шивелуч в голоцене (по данным радиоуглеродного датирования). Дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 1994. 215 с.
17. *Хотинский Н.А.* Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977. 200 с.
18. *Braitseva O.A., Litasova S.N., Sulerzhitsky L.D.* Validity of radiocarbon dating in regions of active volcanism in Kamchatka//*Quaternary Internat.* 1992. V. 13/14. P. 143-146.
19. *Braitseva O.A., Melekestsev I.V., Ponomareva V.V. et al.* II Tephra of the largest prehistoric Holocene volcanic eruptions in Kamchatka// *Quaternary Internat.* 1992. V. 12/14. P. 177-180.
20. *Braitseva O.A., Ponomareva V.V., Sulerzhitsky L.D. et al.* Holocene keymarker tephra layers in Kamchatka, Russia. // *Quaternary Res.* 1997. V. 47. P. 125-139.
21. *Braitseva O.A., Sulerzhitsky L.D., Litasova S.N. et al.* Radiocarbon dating and tephrochronology in Kamchatka // *Radiocarbon.* 1993. V. 35. № 3. P. 463-476.
22. *Stuiver M., Reimer P.J.* Extended ¹⁴C data base and revised CALIB 3.0 ¹⁴C age calibration program // *Radiocarbon.* 1993. V. 35. P. 215-230.

Институт вулканической геологии
и геохимии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский
Геологический институт РАН,
Москва

Поступила в редакцию
10.01.1997