

УДК 550.93:551.89

ВОЗРАСТ ТОЛЩИ «КОСОСЛОИСТЫХ ПЕСКОВ» ОПОРНОГО РАЗРЕЗА ЯР СРЕДНИЙ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ КАМЧАТКА) ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСНОГО $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ - И ^{14}C -ДАТИРОВАНИЯ ТОРФА

Ф. Е. Максимов^{1,*}, М. М. Певзнер², А. Ю. Петров¹, С. Б. Левченко¹,
В. А. Григорьев¹, Н. Г. Баранова¹, В. Ю. Кузнецов¹

Представлено академиком РАН И. В. Чернышевым 05.07.2018 г.

Поступило 12.07.2018 г.

Впервые получены количественные данные о радиоизотопном возрасте толщи “косослоистых песков”, широко распространённой в неоплейстоценовых опорных разрезах рыхлых отложений Центральной Камчатки. Исследованы два горизонта торфа, погребённых в толще “косослоистых песков” яра Среднего. Результаты изотопного датирования, проведённого разными методами ($^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ - и ^{14}C -), хорошо согласуются между собой. По итогам работ установлено, что, по-видимому, вся толща отлагалась в интервале около 50–40 тыс. лет назад, т.е. в позднем плейстоцене (МИС-3), а не в среднем, около 400–300 тыс. лет назад, как считалось ранее.

Ключевые слова: средний и поздний плейстоцен, опорные разрезы, рыхлые органосодержащие отложения, уран-ториевое и радиоуглеродное датирование, Центральная Камчатка.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524883288-293>

Основным источником информации о природных событиях, происходивших на Камчатке в среднем и позднем плейстоцене, являются рыхлые отложения из опорных разрезов, расположенных в Центральной Камчатской депрессии (ЦКД) в долине р. Камчатки и её притоков. Их изучение проводилось начиная с 30-х годов прошлого века [1] и особенно активно в 60-е годы [2, 3]. Считается, что озёрные отложения толщи “синих глин” (видимое основание разрезов) накапливались около 400 тыс. л.н. [4]. При этом возрастная характеристика отложений, формирующих опорные разрезы, основывается на скудных и противоречивых фактических данных [5].

В последнее время в области геохронометрии появились новые перспективные подходы для датирования континентальных отложений позднего и среднего плейстоцена. К ним относится, например, комплексное изучение органосодержащих отложений с применением $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ - и ^{14}C -методов датирования [6–8]. Цель выполненного исследования – получение новой информации для оценки количественного возраста отложений опорных разрезов ЦКД. Для этого было проведено $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ - и ^{14}C -датирование горизонта погребённого торфа из толщи “косослоистых песков” в опорном разрезе яра Среднего.

Яр Средний (55°01'10,52" с.ш., 158°59'25,86" в.д.) расположен на правом берегу р. Камчатка (рис. 1а). Последовательность отложений, вскрытых в обнажении яра в 2016 г. в целом соответствует обобщённой схеме сводного разреза ЦКД [2, 4] (рис. 1б). В толще “косослоистых песков” нами были обнаружены два прослоя торфа (“верхний” и “нижний”), из которых были отобраны образцы для ^{14}C - и $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ -датирования (рис. 1б).

^{14}C -возраст образцов из кровли “нижнего” торфа, а также подошвы и кровли “верхнего” торфа оказался практически идентичным (около 43 тыс. ^{14}C -лет, что соответствует 47–46 тыс. календарных лет, рис. 1б). Для $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ -датирования был выбран образец из кровли “верхнего” торфа.

Возможность использования $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ -метода для датирования природных объектов обусловлена следующими допущениями [10, 11]: 1) в момент своего формирования отложения включают только уран, из которого со временем в результате радиоактивного распада накапливается дочерний изотоп ^{230}Th ; 2) датируемые отложения в постседиментационное время представляют собой закрытую радиометрическую систему относительно изотопов урана и тория. Для определения $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ -возраста погребённых органогенных отложений применяют изохронное приближение, базирующееся на количественном определении изотопов урана и тория в серии одновозрастных образцов [10, 11]. Это вызвано необходимостью коррекции аналитических данных, а именно учёта (вычитания) вклада

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

² Геологический институт Российской Академии наук, Москва

* E-mail: maksimov-fedor@yandex.ru

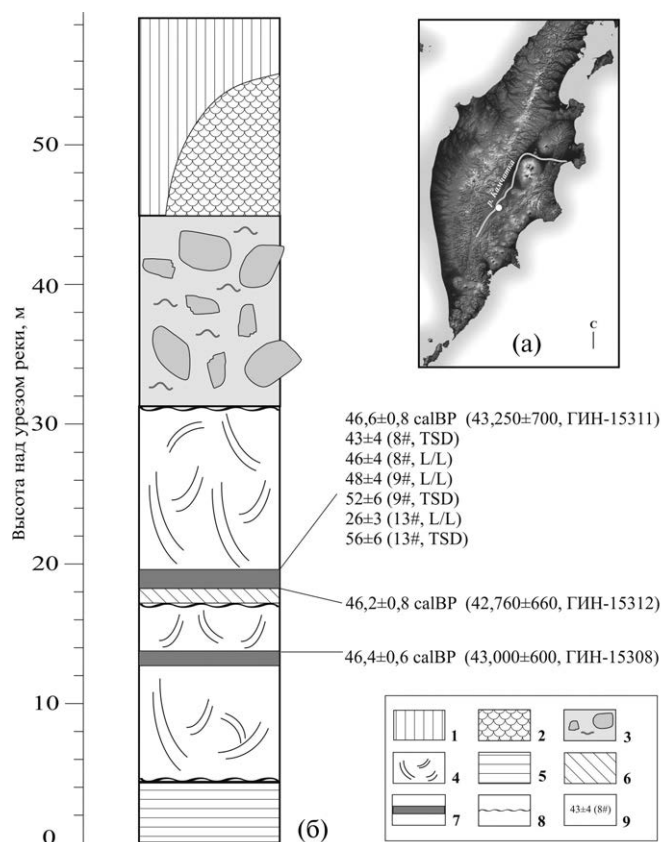


Рис. 1. Схематический разрез рыхлых отложений яра Среднего. (а) – положение яра Среднего на карте Камчатки; (б) – схематический разрез рыхлых отложений; название толщ по [2–4]. 1 – покровные супеси (лёссовидные эоловые отложения); 2 – “межледниковые аллювиальные отложения”; 3 – “мореноподобная” толща (ледниковые отложения); 4 – толща “косослоистых песков” (аллювиальные или аллювиально-пролювиальные отложения); 5 – толща “синих глин” (озёрные отложения); 6 – суглинки; 7 – прослой погребённых торфов; 8 – границы несогласного залегания; 9 – значение изохронно-корректированного $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ -возраста в тыс. лет по L/L- и TSD-моделям, в скобках – количество образцов, использованных для расчёта. Приведение радиоуглеродных дат к календарному возрасту выполнено по калибровочной программе Оксфордского университета OxCal V4.3.2 [9], возраст (calBP) приводится в тыс. лет от 1950 г.

первичного ториевого загрязнения (^{230}Th и ^{232}Th), которое в составе кластической компоненты включается в отложения в момент их формирования и идентифицируется по наличию в образцах ^{232}Th . Предпосылки изохронного приближения формулируются следующим образом [8]: 1) в выбранных разновозрастных образцах величина первичного ториевого загрязнения (выражаемая через соотношение активностей изотопов тория ^{230}Th и ^{232}Th и равная коррекционному индексу) должна быть одна и та же; 2) образцы являются закрытыми радиометрическими системами относительно изотопов урана и тория.

Использована новая версия изохронного приближения $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ -метода, основанная на количественном определении изотопов U и Th в разновозрастных образцах с параллельным использованием методик выщелачивания – L/L-модель и полного растворения – TSD-модель [8, 11].

Согласованность изохронно-корректированного (далее изохронного) возраста, рассчитанного отдельно по L/L- и TSD-моделям для одного и того же набора образцов, характеризует выполнимость предпосылок изохронного приближения.

В 13 пробах из образца торфа определено содержание изотопов урана и тория по методике [11] (табл. 1). При условии соблюдения закрытой радиометрической системы в торфе его изохронный $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ -возраст может быть только равен или меньше прямых (т.е. некорректированных) значений возраста проб для TSD-модели, которые изменяются в диапазоне 104–76 тыс. лет. В соответствии с этим количественный возраст торфа ограничен поздним плейстоценом.

Классическая коррекция аналитических данных подразумевает построение линейных зависимостей в изохронных координатах (рис. 2), нахождение коррекционного индекса f (равного отрезку отсечения на оси ординат) и проведение расчёта изохронного возраста по линейной методике [11].

Совокупности всех аналитических точек (рассматриваемые отдельно по L/L- и TSD-моделям) образуют весьма слабые линейные зависимости, и точки формируют тесные группы или “кластеры” (рис. 2). Однако, если использовать точки выборочно, то возможно построить линейные тренды с высоким коэффициентом корреляции $\geq 0,9$. Для набора 7–9 точек согласно TSD-модели можно рассчитать изохронный возраст по линейной методике. Диапазон его значений с учётом погрешностей варьируется от 90 до 45 тыс. лет. При использовании тех же наборов образцов для L/L-модели коэффициенты корреляции линейных зависимостей будут близки 0,7–0,9; при этом возраст, если его возможно рассчитать по линейной методике, составит около 20 тыс. лет. И только для 4 точек L/L-модели может быть получен больший возраст, равный приблизительно 40–32 тыс. лет. Таким образом, использование линейной модели не даёт близких изохронных возрастов, рассчитанных по L/L- и TSD-моделям для одного и того же набора образцов.

Тогда для определения изохронного возраста был применён нелинейный способ расчёта возраста

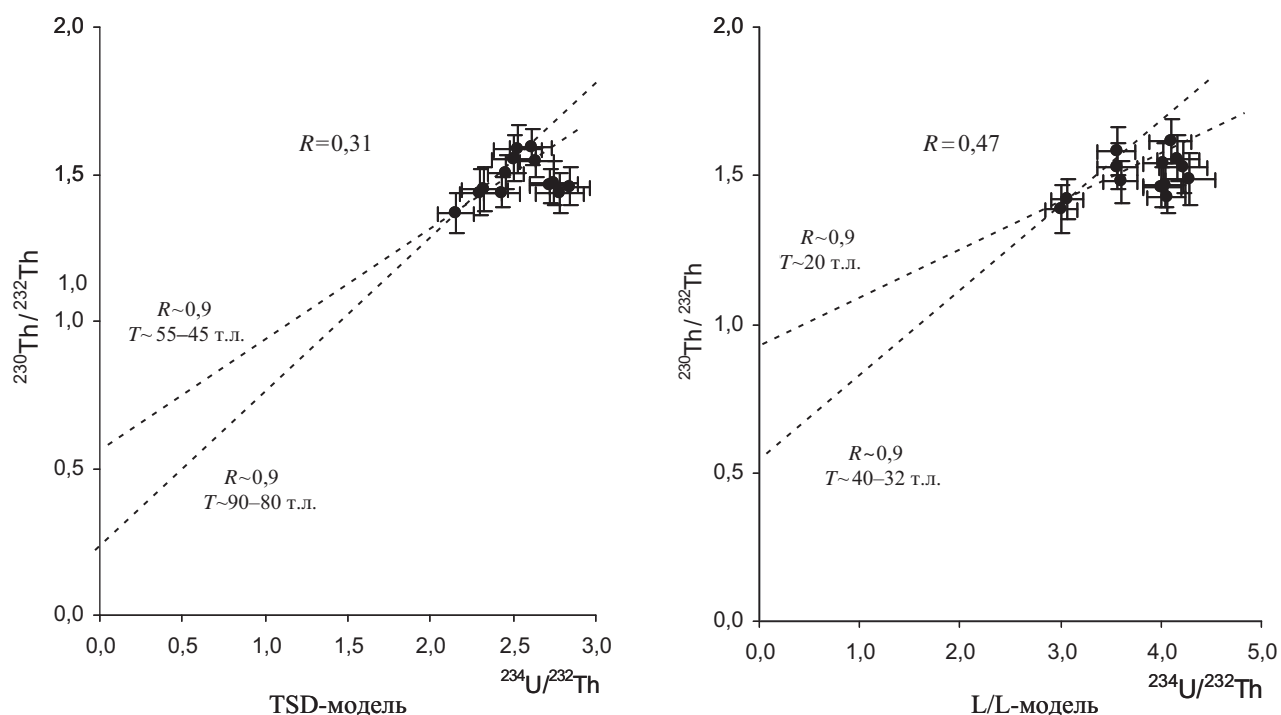


Рис. 2. Аналитические данные по кровле “верхнего” торфа из толщи “косослоистых песков” яра Среднего в изохронных координатах. В верхней части графиков даны коэффициенты корреляции по всем образцам. Пунктирными линиями приведены линейные зависимости через 7–9 точек. Указаны коэффициенты корреляции и возраст в тыс. лет. Линия для L/L-модели с возрастом 40–32 тыс. лет проведена через 4 точки.

[8, 11]. Для каждого образца из совокупности одно-возрастных проб производилась простая коррекция аналитических данных при использовании одного и того же значения коррекционного индекса f и рассчитывался скорректированный возраст. Далее определялось значение разброса (d) полученных датировок как отношение квадратного корня из выборочной дисперсии этих возрастов к их среднеарифметическому значению. Подбором значения f (в интервале значений f , для которых возможны вычисления возраста) можно достичь минимальной величины разброса d (рис. 3). Из соответствующего минимума d значения f определялся изохронный возраст и его погрешность, равные среднеарифметическому значению совокупности скорректированных датировок серии образцов и квадратному корню из выборочной дисперсии соответственно.

При использовании для расчётов по нелинейной методике всех 13 образцов изохронный возраст будет равен для TSD-модели 56 ± 6 тыс. лет и для L/L-модели 26 ± 3 тыс. лет. Несмотря на то, что эти датировки в целом относятся к интервалу МИС-3, наблюдается значительный разброс значений возраста. Согласие изохронного возраста по L/L- и TSD-моделям (48 ± 4 тыс. лет и 52 ± 6 тыс. лет соответственно) достигается при расчётах для серии из

9 проб, когда не учитываются данные по 4 образцам (№ 1306, 1307, 1308, 1324, табл. 1). Близкие датировки могут быть получены и для набора из 8 проб — 46 ± 4 тыс. лет и 43 ± 4 тыс. лет (рис. 3). Важно отметить, что в этих случаях линейная зависимость в принципе отсутствует (коэффициенты корреляции $\leq 0,14$), точки образуют “кластеры” и расчёты по линейной методике произвести невозможно.

Таким образом, о количественном возрасте толщи “косослоистых песков” яра Среднего можно сделать следующие выводы:

1) Впервые получены количественные данные о радиоизотопном возрасте толщи “косослоистых песков” ЦКД. Прямые данные $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ -датирования свидетельствуют о том, что “верхний” торф, вероятно, отлагался не ранее второй половины МИС-5.

2) $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ -датировки для “верхнего” торфа, достигнутые в рамках новой версии изохронного приближения, в целом согласуются с калиброванными календарными возрастными, полученными при ^{14}C -датировании (рис. 16).

3) Комплексное $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ - и ^{14}C -датирование “верхнего” и “нижнего” слоёв торфа яра Среднего позволяет предположить, что толща отлагалась в интервале около 50–40 тыс. лет назад, т.е. в позднем

Таблица 1. Результаты радиохимического анализа изотопов урана и тория в образцах из кровли «верхнего» торфа яра Среднего

Лаб.№	Зола, %	^{238}U	^{234}U	^{230}Th	^{232}Th	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$
		расп/мин на г					
Метод полного растворения (TSD-модель)							
1306т	0,8044	1,0973±0,0389	1,2389±0,0424	0,7742±0,0311	0,5382±0,0237	0,6249±0,0330	1,1290±0,0486
1307т	0,8285	0,9605±0,0333	1,2333±0,0392	0,7832±0,0288	0,5728±0,0235	0,6350±0,0309	1,2841±0,0528
1308т	0,8240	0,9907±0,0382	1,2371±0,0442	0,7741±0,0279	0,4889±0,0214	0,6258±0,0317	1,2487±0,0575
1309т	0,8414	1,2440±0,0502	1,5343±0,0575	0,9534±0,0366	0,6589±0,0290	0,6214±0,0334	1,2334±0,0587
1310т	0,8450	1,2818±0,0459	1,6127±0,0534	0,8323±0,0288	0,5792±0,0233	0,5161±0,0247	1,2581±0,0523
1311т	0,8439	1,2064±0,0392	1,5554±0,0462	0,8337±0,0305	0,5662±0,0243	0,5360±0,0253	1,2893±0,0483
1324т	0,8563	1,2174±0,0437	1,5025±0,0500	0,9163±0,0262	0,5762±0,0196	0,6099±0,0268	1,2341±0,0522
1325т	0,8524	1,2808±0,0407	1,5936±0,0471	0,9885±0,0358	0,6368±0,0274	0,6203±0,0290	1,2442±0,0457
1326т	0,8430	1,4019±0,0445	1,7003±0,0505	0,9114±0,0272	0,6244±0,0213	0,5360±0,0226	1,2129±0,0444
1336т	0,8065	1,1693±0,0313	1,4740±0,0364	0,7560±0,0241	0,5185±0,0191	0,5129±0,0207	1,2606±0,0380
1337т	0,8678	1,2524±0,0396	1,5743±0,0460	0,9643±0,0275	0,6402±0,0212	0,6125±0,0250	1,2570±0,0457
1338т	0,8577	1,2755±0,0365	1,6043±0,0427	0,9371±0,0241	0,6074±0,0181	0,5841±0,0216	1,2578±0,0408
1339т	0,8568	1,2288±0,0412	1,5608±0,0483	0,9234±0,0239	0,6418±0,0189	0,5916±0,0239	1,2702±0,0490
Метод выщелачивания (L/L-модель)							
1306	0,8044	0,4906±0,0182	0,6928±0,0223	0,3191±0,0135	0,2301±0,0103	0,4606±0,0245	1,4121±0,0630
1307	0,8285	0,4882±0,0179	0,6726±0,0216	0,3118±0,0104	0,2193±0,0084	0,4636±0,0214	1,3776±0,0611
1308	0,8240	0,5320±0,0192	0,7199±0,0231	0,3202±0,0110	0,2020±0,0086	0,4449±0,0209	1,3533±0,0589
1309	0,8414	0,6704±0,0265	0,8944±0,0316	0,3832±0,0136	0,2503±0,0107	0,4284±0,0215	1,3342±0,0635
1310	0,8450	0,6870±0,0264	1,0157±0,0335	0,3687±0,0145	0,2410±0,0111	0,3630±0,0186	1,4785±0,0667
1311	0,8439	0,6593±0,0268	0,9881±0,0343	0,3425±0,0135	0,2304±0,0110	0,3466±0,0182	1,4987±0,0715
1324	0,8563	0,6345±0,0202	0,8793±0,0245	0,3614±0,0117	0,2444±0,0093	0,4110±0,0176	1,3857±0,0519
1325	0,8524	0,6812±0,0232	0,9820±0,0292	0,3580±0,0111	0,2450±0,0089	0,3645±0,0157	1,4416±0,0574
1326	0,8430	0,7406±0,0303	1,1216±0,0392	0,4086±0,0144	0,2780±0,0115	0,3643±0,0181	1,5144±0,0721
1336	0,8065	0,6763±0,0243	0,9545±0,0302	0,3361±0,0099	0,2351±0,0079	0,3521±0,0152	1,4113±0,0592
1337	0,8678	0,6154±0,0198	0,8867±0,0249	0,3398±0,0109	0,2206±0,0085	0,3832±0,0164	1,4408±0,0540
1338	0,8577	0,6839±0,0226	0,9383±0,0276	0,3502±0,0122	0,2249±0,0094	0,3732±0,0170	1,3719±0,0530
1339	0,8568	0,7145±0,0271	0,9929±0,0333	0,3922±0,0126	0,2424±0,0094	0,3950±0,0184	1,3896±0,0620

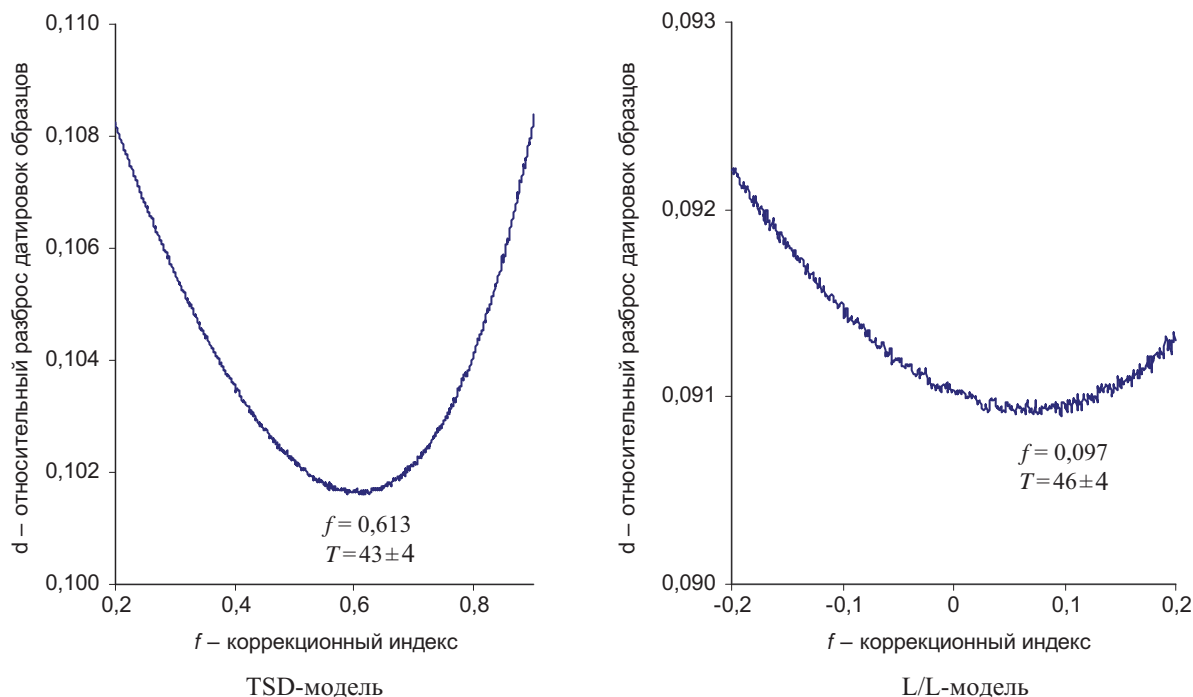


Рис. 3. Определение изохронно-корректированного возраста (в тыс. лет) для серии из 8 образцов (отброшены образцы № 1306, 1307, 1308, 1324, 1325) кровли “верхнего” торфа из толщи “косослоистых песков” яра Среднего согласно нелинейному способу расчёта.

плейстоцене (МИС-3), а не в среднем, около 400–300 тыс. лет назад, как считалось ранее.

Источники финансирования. Работа выполнена в соответствии с госзаданием по теме ГИН РАН № 0135–2018–0037 и при поддержке грантов РФФИ № 17–05–00352 и 18–35–00571.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куцев С.Л., Ливеровский Ю.А. // Тр. ин-та физич. геогр. АН СССР. Вып. 32. М.: Наука, 1940. 87 с.
2. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Евтеева И.С., Луникина Е.Г. Стратиграфия четвертичных отложений и оледенения Камчатки. М.: Наука, 1968. 226 с.
3. Куприна Н.П. Стратиграфия и история осадконакопления плейстоценовых отложений Центральной Камчатки / Тр. ГИН АН СССР. Вып. 216. М.: Наука, 1970. 148 с.
4. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Сулержицкий Л.Д. // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2005. Т. 13. № 1. С. 121–130.
5. Певзнер М.М., Яшина О.В., Смышляева О.И. и др. // Литол. и пол. иск. 2018. № 6. С. 1–40.
6. Максимов Ф.Е., Кузнецов В.Ю., Зарецкая Н.Е. и др. // ДАН. 2011. Т. 438. № 2. С. 222–226.
7. Максимов Ф.Е., Зарецкая Н.Е., Шеботинов В.В. и др. // ДАН. 2015. Т. 462. № 6. С. 681–685.
8. Максимов Ф.Е., Савельева Л.А., Лаухин С.А. и др. // Сибирский экологический журнал. 2017. № 4. С. 427–439.
9. OxCal V4.3.2 Bronk Ramsey C., 2017. <http://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html#firefox>
10. Geyh M.A. // Geochronometria. 2001. Vol. 20. P. 9–14.
11. Максимов Ф.Е., Кузнецов В.Ю. // Вестн. СПбГУ. 2010. Сер.7. Вып. 4. С. 94–107.

**AGE OF THE «CROSS-LAMINATED SANDY» STRATUM FROM
THE REFERENCE SECTION YAR SREDNY (CENTRAL KAMCHATKA)
ACCORDING TO THE PAIRED $^{230}\text{Th} / ^{238}\text{U}$ AND ^{14}C DATING OF PEAT**

**F. E. Maksimov¹, M. M. Pevzner², A. Yu. Petrov¹, S. B. Levchenko¹, V. A. Grigoriev¹,
N. G. Baranova¹, V. Yu. Kuznetsov¹**

¹Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russian Federation

²Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Presented by Academician of the RAS I.V. Chernyshov July 5, 2018

Received July 12, 2018

For the first time, numerical radioisotope age were obtained for the “cross-laminated sandy” stratum, which is widespread in Neopleistocene reference sections of loose sediments from Central Kamchatka. Two peat layers, incorporated in the “cross-laminated sandy” stratum of the Yar Sredny, were studied. The results of their paired $^{230}\text{Th} / ^{238}\text{U}$ and ^{14}C dating are in good agreement with each other. According to the dating results, it was determined that the “cross-laminated sandy” stratum was deposited, apparently, in the range of about 50–40 thousand years ago, i.e. in the Late Pleistocene (MIS-3), and not in the Middle Pleistocene, about 400–300 thousand years ago, as previously thought.

Keywords: Middle and Late Pleistocene, reference sections, loose organic-rich deposits, uranium-thorium and radiocarbon dating, Central Kamchatka.