

Правительство Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет»
(СПбГУ)

УДК 551.89

Reg № НИОКТР АААА-А19-119030490037-9

Инв. №45422336

УТВЕРЖДАЮ

Начальник Управления
научных исследований СПбГУ

_____ Е.В. Лебедева
« » _____ 20__ г.

ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Геохронометрическое изучение среднеплейстоценовых погребенных органогенных отложений
в опорном разрезе Восточно-Европейской равнины «Илья Пророк» (Тверская область)

По гранту РФФИ
(№18-35-00571 мол_а)

Руководитель НИР
Инженер-исследователь лаборатории
«Геоморфологических и
палеогеографических исследований
полярных регионов и Мирового океана
СПбГУ»

Петров А.Ю.



Санкт-Петербург
2020

Итоговый отчет по гранту №18-35-00571 мол_а:

«Геохронометрическое изучение среднелепистоценовых погребенных органогенных отложений в опорном разрезе Восточно-Европейской равнины «Илья Пророк» (Тверская область)»

Руководитель: Петров Алексей Юрьевич

Реферат

В рамках выполнения проекта проведено уран-ториевое ($^{230}\text{Th}/\text{U}$) датирование органосодержащих отложений из погребенной озерно-болотной толщи в опорном разрезе Илья Пророк с целью установления ее количественного возраста и хронологии формирования. Оно включало в себя радиохимическое определение количеств изотопов урана и тория и их изотопных отношений в образцах органосодержащих отложений из нижней, средней и верхней части толщи. Использовались методики кислотного выщелачивания образцов отложений (L/L-модель) и их полного растворения (TSD-модель).

Для образца оторфованного суглинка из нижней части озерно-болотной толщи получена максимально возможная оценка $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраста – $287 \pm 39/27$ тыс. лет.

При датировании торфяника из верхней половины толщи (ближе к ее центральной части) использовалось изохронное приближение. Согласно TSD-модели построены линейные зависимости с высоким коэффициентами корреляции и получены изохронные $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датировки: $233 \pm 16/10$ тыс. лет для серии из всех образцов отбора 2018 года и $232 \pm 12/8$ тыс. лет (суммарный отбор 2018 и 2015 гг). Для L/L-модели изохронное приближение выполнялось хуже, и близкий возраст мог быть получен лишь для выборочной серии образцов.

Для верхней части разреза получены изохронные $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датировки 170 ± 12 тыс. лет (TSD-модель) и 189 ± 28 тыс. лет (L/L-модель). Эти данные могут считаться лишь минимальным возрастом отложений. Вероятность постседиментационной аккумуляции урана является весьма высокой, поскольку вышележащие слои, очевидно, омоложены.

Озерно-болотная толща по литературным данным коррелирует с теплыми фазами лихвинского межледниковья и относительно прохладными фазами переходного этапа к днепровскому оледенению. Согласно впервые полученным $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возрастным данным можно предположить, что максимальный интервал формирования этой толщи находится в диапазоне от МИС-9 до МИС-7.

Цель и задачи фундаментального исследования

Основной целью предлагаемого проекта является установления количественного возраста и хронологии формирования озерно-болотной толщи в опорном разрезе «Илья Пророк» (Тверская область).

Конкретные задачи, решаемые в рамках проекта:

1. Радиоаналитическое определение содержания изотопов урана и тория и их изотопных отношений в образцах органогенных отложений из кровли, центра и подошвы озерно-болотной толщи с применением различных методик (моделей) химической обработки образцов.
2. Расчеты изохронного $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраста по экспериментальным данным, полученным на основе различных методик (моделей) химической обработки образцов.
3. Установление окончательного $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраста кровли, центра и подошвы озерно-болотной толщи, оценка продолжительности времени ее накопления и корреляция этих данных с глобальной изотопно-кислородной шкалой.

Важнейшие результаты, полученные при реализации Проекта

В соответствии с основной целью проекта, а именно для установления количественного ($^{230}\text{Th}/\text{U}$) возраста и хронологии формирования озерно-болотной толщи в опорном разрезе «Илья Пророк» (Тверская область), проведено радиохимическое изучение образцов органических отложений из ее кровли, центра и подошвы, отобранных в ходе полевых работ в 2015 и 2018 годах. Схематичное строение озерно-болотной толщи приведено на основе описания разреза, сделанного в 2015 году (Константинов и др., 2017). Сверху вниз на глубине по вертикальному профилю от бровки обнажения вскрываются (рис. 1):

Слой 1. 4,00–4,60 м. Суглинок легкий оторфованный, темно-коричневый с включением фрагментов неразложившейся древесины;

Слой 2. 4,60–4,90 м. Песок серый мелкий с тонкими прослоями торфа;

Слой 3. 4,90–5,40 м. Торф высокой степени разложения, черный с тонкими прослоями алеврита и тонкозернистого песка, с редкими включениями фрагментов древесины;

Слой 4. 5,40–6,65 м. Суглинок легкий оторфованный, темно-серый с редкими включениями гравия, гальки, мелких валунов, с включением фрагментов слаборазложившейся древесины;

Слой 5. 6,65–6,90 м. Торф высокой степени разложения, полутвердый темно-коричневый, плитчатый;

Слой 6. 6,90–7,3 м. Торф низкой степени разложения, рыжевато-коричневый, плотный, листоватый;

Слой 7. 7,3–7,57. Переходный горизонт: переслаивание суглинка серого опесчаненного и торфа сильно уплотненного, имеющего плитчатую структуру, оглиненного.

Слой 8. 7,57–8,3 м – суглинок тяжелый серый с прослоем аргиллита;

Слой 9. 8,3–9,6 м – аргиллит, буровато-коричневый, твердый плитчатый;

Слой 10. 9,6–11,0 м – суглинок средний темно-серый с сизым оттенком с крупными пятнами темно-коричневого, серо-коричневого цвета, наблюдаются прослои черного оторфованного суглинка (9,9 м) и (10,40–10,45 м), в нижней части с включением дресвы и мелкозернистого песка.

Слой 11. 11,0–11,2 м – глина сизовато-серая.

Озерно-болотная толща перекрыта мощным слоем крупного песка с галькой и гравием и подстилается суглинком тяжелым серо-коричневым с включением дресвы и щебня (Константинов и др., 2017).

Полевые работы и отбор образцов на определение возраста проводились в 2015 году, когда разрез был вскрыт полностью по вертикальному профилю от бровки обнажения до уреза р. Большая Коша и в 2018 года на месте этой же расчистки. Для радиохимического анализа и последующего определения $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраста были выбраны отложения:

- торфяника слоя 6 из центральной части толщи;

- оторфованного суглинка с глубины 10,40–10,45 м из слоя 10;

- торфа из нижней части слоя 3 и оторфованного суглинка из верхней части слоя 4.

В образцах этих слоев содержание изотопов U и Th определялось параллельно двумя способами с применением методики выщелачивания образца царской водкой (L/L-модель) и при полном его растворении (TSD-модель) [Максимов и др., 2017]. Определение количеств изотопов U и Th выполнено на основе радиохимической методики [Максимов, Кузнецов, 2010] включающей в себя:

– выделение изотопов U и Th из исследуемых фракций и их очистку от макро- и микропримесей с использованием метода ионообменной хроматографии;

– электроосаждение изотопов U и Th на платиновых дисках;

– альфа-спектрометрическое определение изотопов ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th и ^{230}Th на α -спектрометре ALFA-DUO (ORTEC, США).

Наиболее перспективным объектом для $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирования оказался торфяник слоя 6. В

ходе полевого изучения разреза в 2015 году из слоя 6 отобрали небольшое число образцов с интервалом в 10 см. Этого могло не хватить для получения точной датировки. Поэтому в августе 2018 года нами были дополнительно отобраны образцы из этого же слоя торфа с меньшим разрешением (5 см). Аналитические данные, полученные в первый год выполнения проекта, были уточнены, а также были выполнены дополнительные радиохимические анализы образцов (табл. 1). Во всех образцах, несмотря на относительно небольшую зольность (8,5–27,5 %), значения отношений активностей $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ варьируют в диапазоне $0,9 \pm 1,8$ причем и для L/L и для TSD моделей. Это свидетельствует о весьма значительном вкладе минеральной фракции в образцах торфа. Соответственно для определения точного $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраста требуется коррекция аналитических данных, осуществляемая, как правило, на основе изохронного приближения. Его предпосылки можно сформулировать следующим образом: 1) в выбранных одновозрастных образцах должна быть одна и та же величина первичного ториевого загрязнения, а значит и коррекционного индекса; 2) образцы являются закрытыми радиометрическими системами относительно изотопов урана и тория. В этом случае необходим анализ ряда одновозрастных образцов (в нашем случае условие одного возраста можно принять), в результате чего можно оценить вклад детритного изотопного загрязнения и в итоге получить изохронно-корректированный $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраст отложений. Фактически в условиях предположения наличия закрытой радиометрической системы коррекция заключается в оценке количества ^{230}Th попавшего в торф в момент его формирования и идентифицируемого по наличию в образцах ^{232}Th [Максимов и др., 2015]. В качестве поправочного коэффициента используется коррекционный индекс, характеризующий первичное ториевое загрязнение и равный отношению активностей $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$. Его находят посредством построения линейных (изохронных) зависимостей для ряда одновозрастных образцов в координатах $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th} - ^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$. Наилучшие линейные зависимости отмечаются для TSD-модели. Это позволило согласно расчетной методики (Максимов, Кузнецов, 2010) произвести коррекцию общего содержания ^{230}Th в образцах, т.е. вычесть из него первичный ^{230}Th , получить исправленные (корректированные) отношения активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, рассчитать детритно-корректированные датировки для каждого образца и средневзвешенное значение из них – изохронно-корректированный возраст. Для 10 образцов отбора 2018 года получена изохронная датировка $233 \pm 16/10$ тыс. лет и для 15 образцов отбора 2018 и 2015 годов – $232 \pm 12/8$ тыс. лет (рис. 2А). На эволюционной диаграмме образцы представлены с исправленными значениями $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ и экспериментальными значениями $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ (рис. 4). С учетом погрешностей детритно-корректированные датировки 10 образцов отбора 2018 года находятся в широкой временной области, примерно от 300 до 200 тыс. лет назад, однако сами аналитические точки (образцы) образуют узкую группу, соответствующую средневзвешенному значению изохронного возраста $233 \pm 16/10$ тыс. лет. Это обстоятельство, а также отсутствие выбросов точек из линейных зависимостей в изохронных координатах (рис. 2В) являются одними из признаков, позволяющими сделать предположение о выполнимости предпосылок изохронного приближения $^{230}\text{Th}/\text{U}$ метода для образцов погребенного торфяника (слой 6). Для L/L-модели условия изохронного приближения выполняются значительно хуже, имеются отклонения точек от линейных зависимостей (рис. 3). Лишь для 7 из 14 образцов (табл. 2) можно получить изохронно-корректированный возраст $216 \pm 28/17$ тыс. лет, который может быть сопоставлен с TSD возрастными данными.

Следует отметить, что L/L модель требует выполнения процедуры выщелачивания с высокой степенью постоянства физико-химических условий от образца к образцу. Отличия в содержании минеральной фракции в образцах торфа, возможно, вызывают некоторые нарушения постоянства условий. Ясно, что TSD данные в большей степени

соответствуют предпосылкам изохронного приближения. Таким образом, полученные для них изохронно-корректированные датировки могут быть сопоставлены с начальными фазами

с

МИС-7.

Для 6 образцов органогенных отложений слоя 3 и слоя 4 из верха озерно-болотной толщи выполнен радиохимический анализ изотопов урана и тория с применением TSD и L/L моделей (табл. 3). Образцы с глубины 5,2–5,3 м явно указывают на постседиментационную аккумуляцию урана. Это выражается через существенно повышенные концентрации изотопов урана и сильно заниженные значения отношения активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ по сравнению с нижележащими образцами 5,4–5,6 м. Построение линейных (изохронных) зависимостей для образцов с глубин 5,4–5,6 м не представляется возможным из-за плохой корреляции изотопных отношений. В этом случае для определения изохронного возраста был применен нелинейный способ расчета возраста [Максимов, 2019]. Для каждого образца из совокупности одновозрастных проб производилась простая коррекция аналитических данных при использовании одного и того же значения коррекционного индекса f и рассчитывался детритно-корректированный возраст. Далее находили значение разброса (d) полученных датировок как отношение квадратного корня из выборочной дисперсии этих возрастов к их среднеарифметическому значению. Подбором значения f достигается минимальная величина разброса d (рис. 5). Для минимума d находилось значение f , соответствующее ториевому загрязнению. Далее определялся изохронно-корректированный возраст и его погрешность, равные среднеарифметическому значению совокупности корректированных датировок серии образцов и квадратному корню из выборочной дисперсии, соответственно. С применением этой методики расчета для 4 образцов с глубин 5,4–5,6 м получены изохронные $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датировки 170 ± 12 тыс. лет (TSD-модель) и 189 ± 28 тыс. лет (L/L-модель) (рис. 5). Эти данные могут считаться лишь минимальным возрастом отложений. Вероятность постседиментационной аккумуляции урана является весьма высокой, поскольку вышележащие слои, очевидно, омоложены. Для слоя оторфованного суглинка из низа (слой 10) озерно-болотной толщи выполнен радиохимический анализ 4 образцов с применением TSD и L/L моделей (табл. 4). Аналитические данные указывают на открытую радиометрическую систему относительно изотопов урана. Отношения активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ несколько меньше 1, что, по всей видимости, можно связать с незначительным выщелачиванием изотопов урана в постседиментационное время. Если взять средневзвешенное значение удельных активностей урана и тория образцов в рамках TSD-модели, то в этом случае отношения активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U} = 0.9277 \pm 0.0112$ и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = 0.9981 \pm 0.0114$ позволяют вычислить некорректированный $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраст для этого слоя $288 \pm 25/20$ тыс. лет. Близкие значения можно получить для обр. № 505t: $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U} = 0.9270 \pm 0.0161$ и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = 0.9975 \pm 0.0167$ и некорректированный $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраст $287 \pm 39/27$ тыс. лет. Таким образом, можно предположить, что для этого прослая выполнялись условия закрытой радиометрической системы относительно изотопов U и Th, либо в постседиментационное время могло происходить предпочтительное выщелачивание изотопов урана. При условии реализации одного из этих вариантов полученная $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датировка является максимальной оценкой возраста. То есть прослой торфа мог формироваться не ранее, примерно, 326–313 тыс. лет назад, что не противоречит $^{230}\text{Th}/\text{U}$ изохронному возрасту торфяника слоя 6. Таким образом, впервые получены $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возрастные данные для погребенной озерно-болотной толщи в разрезе «Илья Пророк» получены (рис.1):

- для низа толщи (слой 10) максимально возможная оценка $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраста – $287 \pm 39/27$ тыс. лет;
- для верхней половины толщи ближе к ее центральной части (слой 6) $233 \pm 16/10$ тыс. лет и $232 \pm 12/8$ тыс. лет;

- для верха (слои 3 и 4) минимально возможный $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраст 170 ± 12 тыс. лет и 189 ± 28 тыс. лет. Можно предположить, что максимальный интервал формирования этой толщи находится в диапазоне от МИС-9 до МИС-7. Озерно-болотная толща по литературным данным коррелирует с теплыми фазами лихвинского межледниковья и относительно прохладными фазами переходного этапа к днепровскому оледенению (Гричук, 1989). По литологическому описанию разреза к теплым фазам может относиться слой 10, а к переходным фазам слои 7–3. То есть время формирования толщи относится к лихвинскому межледниковью и последующим фазам похолодания.

Литература:

1. Гричук, В.П., 1989. История флоры и растительности Русской равнины в плейстоцене. М.: Наука.
2. Константинов Е.А., Мухаметшина Е.О., Карпухина Н.В. Условия залегания и свойства погребенных органогенных отложений бассейна реки Большой Коши (Тверская область) // Естественные и технические науки. 2017. № 5. С. 56–61.
3. Максимов Ф.Е., Кузнецов В.Ю. Новая версия $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирования верхне- и среднеледниковых отложений // Вестник СПбГУ. 2010. Сер.7. Вып.4. С.94-107.
4. Максимов Ф.Е., Зарецкая Н.Е., Шеботинов В.В., Кузнецов В.Ю., Успенская О.Н., Григорьев В.А., Кукса К.А. Новые возможности радиоизотопного датирования погребенных органогенных отложений (на примере разреза Курьядор, долина верхней Вычегды) // ДАН. 2015. Т. 462, No. 6. С. 681–685.
5. Максимов Ф.Е., Савельева Л.А., Лаухин С.А., Кузнецов В.Ю., Арсланов Х.А., Петров А.Ю., Григорьев В.А., Левченко С.Б. Новые данные о возрасте и условиях формирования погребенных органогенных отложений в среднем течении реки Оби // Сибирский экологический журнал. 2017а. № 4. С. 427-439.
6. Максимов Ф.Е., Певзнер М.М., Петров А.Ю., Левченко С.Б., Григорьев В.А., Баранова Н.Г. Возраст толщи «косослоистых песков» опорного разреза Яр Средний (Центральная Камчатка) по данным комплексного $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ - и ^{14}C -датирования торфа // Доклады Академии наук. - 2019. - Т. 488. - №3. - С. 288-293.

Сопоставление результатов, полученных при реализации с мировым уровнем

На сегодняшний день остается проблематичной корреляция лихвинского межледниковья и его стратиграфических аналогов в Восточной и Западной Европе с изотопно-кислородными стадиями (или иначе морскими изотопными стадиями МИС). Большинство исследователей относят это межледниковье к МИС-11 (Cohen et al., 2013; Шик, 2014) стадии, однако, звучат голоса и тех, кто относит его к МИС-9 (Velichko et al., 2011).

В отношении возрастных рамок лихвинского межледниковья также нет единой точки зрения. Так, для его стратиграфических аналогов в Западной Европе приводятся различные хронологические интервалы. Например, для мазовецкого межледниковья Польши отводится время от 300 до 350 тысяч лет назад (Mojski, 2005), для гольштейна Германии – от 300 до 320 т.л.н (Eissman, 2006). По мнению А. Н. Молодькова (Молодьков; Болиховская, 2011) возрастные рамки лихвинского межледниковья - от 360 до 455 т.л.н. На сегодняшний день опубликованы всего две $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датировки органогенных отложений в разрезах Западной Европы (Англия и Германия), отражающие количественный возраст стратиграфических аналогов лихвинского межледниковья (Rowe et al., 1997; Geyh, Muller, 2005). Эти $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возрастные данные для гольштейна Германии и хокснийского межледниковья в Англии коррелируют с МИС-9. Участниками получены первые в отечественной практике геохронологических исследований $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датировки среднеплейстоценовой озерно-болотной толщи в

разрезах «Илья Пророк».

- для низа толщи получена максимально возможная оценка $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраста – $287 \pm 39/27$ тыс. лет;
- для верхней половины толщи $233 \pm 16/10$ тыс. лет и $232 \pm 12/8$ тыс. лет;
- для верха минимально возможный $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраст 170 ± 12 тыс. лет и 189 ± 28 тыс. лет.

Можно предположить, что максимальный интервал формирования этой толщи находится в диапазоне от МИС-9 до МИС-7. Озерно-болотная толща по литературным данным коррелирует с теплыми фазами лихвинского межледниковья и относительно прохладными фазами переходного этапа к днепровскому оледенению (Гричук, 1989). Проведенные коллективом исследования полностью соответствуют мировому уровню.

Молодьков А.Н., Болиховская Н.С. Климато-хроностратиграфическая схема неоплейстоцена Северной Евразии // Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. Вып. 3. М.: Географический факультет МГУ, 2011. С. 44-77.

Шик С.М., Неоплейстоцен центра Европейской России: современные представления о стратиграфии и палеогеографии. Стратиграфия и геол. корреляция. 2014. том 22, № 2, с. 108–120.

Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.-X. (2013; updated) The ICS International Chronostratigraphic Chart. - Episodes 36: 199-204.

Eissman L. Meere und Inlandeis am Sudrand der Norddeutschen Senke Tagungsband und Exkursionsfuhrer der 73. Tagung der Arbeitsgemeinschaft Norddeutscher Geologen von 6 bis 9 Juni 2006 in Halle (Salle), 2006. S. 12–16.

Mojski J.E. Europa w plejstocenie. Warszawa, 2005. 333 s.

Velichko, A. A., Faustova, M. A., Pisareva, V. V., Gribchenko, Yu. N., Sudakova, N. G. & Lavrentiev, N. V. (2011): Glaciations of the East European Plain: Distribution and Chronology.

– In Ehlers, J., Gibbard, P.L. & Hughes, P.D. (Eds.): Developments in Quaternary Science, 15. – pp. 337-359 (Elsevier) Amsterdam.

Rowe P.J., Richards D.A., Atkinson T.C., Bottrell S.H., Cliff R.A. Geochemistry and radiometric dating of a Middle Pleistocene peat // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1997. Vol. 61. № 19. P. 4201-4211

Geyh M.A., Miller H. Numerical $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating and palinological review of the Holsteinian/Hoxnian Interglacial // Quaternary Science Reviews. 2005. Vol. 24. P. 1861-1872.

Методы и подходы, использованные при реализации Проекта

Для непосредственного датирования органогенных (органосодержащих) отложений с возрастом до 350 тыс. лет наиболее перспективным является $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -метод неравновесной радиоизотопной геохронологии. В последние несколько десятилетий этот метод активно используется и совершенствуется, в том числе участниками предлагаемого проекта, для датирования погребенных континентальных неоплейстоценовых органогенных формаций (Максимов, Кузнецов, 2010; Максимов и др., 2017, 2019; Geyh, Muller, 2005; Waas et al., 2011; Maksimov et al., 2012, 2015; Rusakov et al., 2015; Voerner et al., 2015; Waas et al., 2011 и др.). В ходе выполнения работ проекту применялись описанные ниже подходы. Основной сложностью применения $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -метода для датирования погребенных органосодержащих слоев является необходимость использования изохронного приближения. В момент формирования отложений в них включаются помимо урана некоторые количества изотопов тория, входящие в состав минеральной фракции. Поэтому для определения возраста требуется коррекция аналитических данных, осуществляемая, как правило, на основе изохронного приближения (Geyh, 2001, Geyh, Muller, 2005; Максимов, Кузнецов, 2010; Waas et al., 2011 и др.).

Предпосылки изохронного приближения формулируется следующим образом: 1) в выбранных разновозрастных образцах должна быть одна и та же величина первичного ториевого загрязнения, а значит и коррекционного индекса; 2) образцы являются закрытыми радиометрическими системами относительно изотопов урана и тория. В этом случае необходим анализ ряда разновозрастных образцов (в нашем случае условие одного возраста можно принять), в результате чего можно оценить вклад детритного изотопного загрязнения и в итоге получить изохронно-корректированный $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраст отложений. Фактически в условиях предположения наличия закрытой радиометрической системы коррекция заключается в оценке количества ^{230}Th попавшего в торф в момент его формирования и идентифицируемого по наличию в образцах ^{232}Th [Максимов и др., 2015]. В качестве поправочного коэффициента используется коррекционный индекс, характеризующий первичное ториевое загрязнение и равный отношению активностей $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$. Его находят посредством построения линейных (изохронных) зависимостей для ряда разновозрастных образцов в координатах $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ – $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$. Таким образом, производится коррекция общего содержания ^{230}Th в образцах, т.е. вычитается из него первичный ^{230}Th , далее рассчитываются исправленные (корректированные) отношения активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ и детритно-корректированные датировки для каждого образца и средневзвешенное значение из них – изохронно-корректированный возраст (Максимов, Кузнецов, 2010)..

В данном случае проводится анализ ряда разновозрастных образцов с применением методики выщелачивания образца царской водкой (L/L-модель) и при полном его растворении (TSD-модель). Основной целью получения линейных зависимостей, позволяющих оценить корректированный возраст отложений. В случае невозможности построения линейных зависимостей с высокими коэффициентами корреляции для определения изохронного возраста применяется нелинейный способ расчета возраста [Максимов и др., 2019]. Для каждого образца из совокупности разновозрастных проб производилась простая коррекция аналитических данных при использовании одного и того же значения коррекционного индекса f и рассчитывался детритно-корректированный возраст. Далее находили значение разброса (d) полученных датировок как отношение квадратного корня из выборочной дисперсии этих возрастов к их среднеарифметическому значению. Подбором значения f достигается минимальная величина разброса d (рис. 5). Для минимума d находилось значение f , соответствующее ториевому загрязнению. Далее определялся изохронно-корректированный возраст и его погрешность, равные среднеарифметическому значению совокупности корректированных датировок серии образцов и квадратному корню из выборочной дисперсии, соответственно. Аналитические данные оцениваются на предмет выполнения условий закрытой радиометрической системы относительно изотопов урана и тория. В этом случае хорошим индикатором является значение отношения активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ позволяющее предположить постседиментационные процессы выщелачивания урана ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ меньше единицы) или аккумуляции урана ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ существенно больше единицы). Также и значение отношения активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ может указывать на постседиментационную аккумуляцию урана, когда оно существенно уменьшается и одновременно растет содержание урана. Все подходы и аспекты $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирования использовались в работе.

Список литературы.
 Максимов Ф.Е., Кузнецов В.Ю. Новая версия $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирования верхне- и среднеплейстоценовых отложений // Вестник СПбГУ. 2010. Сер.7. Вып.4. С.94-107.
 Максимов Ф.Е., Савельева Л.А., Лаухин С.А., Кузнецов В.Ю., Арсланов Х.А., Петров А.Ю., Григорьев В.А., Левченко С.Б. Новые данные о возрасте и условиях формирования

погребенных органогенных отложений в среднем течении реки Оби // Сибирский экологический журнал. 2017а. № 4. С. 427-439.

Максимов Ф.Е., Певзнер М.М., Петров А.Ю., Левченко С.Б., Григорьев В.А., Баранова Н.Г. Возраст толщи «косослоистых песков» опорного разреза Яр Средний (Центральная Камчатка) по данным комплексного $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ - и ^{14}C -датирования торфа // Доклады Академии наук. - 2019. - Т. 488. - №3. - С. 288-293.

Boerner A., Hrynowiecka A., Kuznetsov V., Stachowicz-Rybka R., Maksimov F., Grigoriev V., Niska M., Moskal-del Hoyo M. Palaeoecological investigations and $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating of Eemian interglacial peat sequence of Banzin (Mecklenburg-Western Pomerania, NE-Germany) // Quaternary International. 2015. V. 386. P. 122-136.

Geyh M.A., Miller H. Numerical $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating and palinological review of the Holsteinian/Hoxnian Interglacial // Quaternary Science Reviews. 2005. Vol. 24. P. 1861-1872.

Maksimov F.E., Kuznetsov V.Yu., Laukhin S.A., Kuksa K.A., Levchenko S.B., Grigoriev V.A. Comparative $^{230}\text{Th}/\text{U}$ and ^{14}C Dating of a Buried Stump Layer (Western Siberia) // Geochronometria. 2015. Vol. 42. №. 1. P. 139-147.

Rusakov A., Nikonov A., Savelieva L., Simakova A., Sedov S., Maksimov F., Kuznetsov V., Savenko V., Starikova A., Korkka M., Titova D. Landscape evolution in the periglacial zone of Eastern Europe since MIS5: Proxies from paleosols and sediments of the Cheremoshnik key site (Upper Volga, Russia) // Quaternary International. 2015. Vol. 365. P. 26-41.

Waas D., Kleinmann A., Lepper J. Uranium-series dating of fen peat horizons from pit Nachtigall in northern Germany. Quaternary International. 2011. Vol. 241. P. 111-124.

Библиографический список всех публикаций по Проекту, опубликованных за период, на который предоставлен грант:

1. Максимов Федор Евгеньевич, Петров Алексей Юрьевич, Григорьев Василий Александрович, Константинов Евгений Александрович, Кузнецов Владислав Юрьевич, Левченко Снежана Богдановна, Карпухина Наталья Валерьевна, Арсланов Хикматулла Адиевич, Старикова Анна Александровна, Баранова Надежда Григорьевна. $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраст и палеоботаническая характеристика органогенной толщи из разреза «Илья Пророк» на р. Большая Коша (бассейн Верхней Волги).. Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле, 2020
2. Максимов Федор Евгеньевич, Певзнер Мария Михайловна, Петров Алексей Юрьевич, Левченко Снежана Богдановна, Григорьев Василий Александрович, Баранова Надежда Григорьевна. ВОЗРАСТ ТОЛЩИ «КОСОСЛОИСТЫХ ПЕСКОВ» ОПОРНОГО РАЗРЕЗА ЯР СРЕДНИЙ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ КАМЧАТКА) ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСНОГО $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ - И ^{14}C -ДАТИРОВАНИЯ ТОРФА. Доклады Академии наук, 2019
3. Петров Алексей Юрьевич, Максимов Ф.Е., Григорьев В.А., Константинов Е.А., Старикова А.А., Кузнецов В.Ю., Левченко С.Б., Карпухина Н.В.. ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ СРЕДНЕНЕОПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ОРГАНОГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В РАЗРЕЗЕ ИЛЬЯ ПРОРОК НА Р. БОЛЬШАЯ КОША (ТВЕРСКАЯ ОБЛАСТЬ) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИХ ГЕОХРОНОМЕТРИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ. 2019
4. Григорьев Василий Александрович, Максимов Ф.Е., Левченко С.Б., Зарецкая Н.Е., Корсакова О.П.. РАДИОИЗОТОПНОЕ ДАТИРОВАНИЕ МОРСКИХ ОРГАНОГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОЗДНЕГО НЕОПЛЕЙСТОЦЕНА ЮГА КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА. 2019

5. Петров Алексей Юрьевич, Максимов Ф.Е., Григорьев В.А., Константинов Е.А., Старикова А.А., Левченко С.Б., Карпухина Н.В.. О ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ВОЗРАСТА ОТЛОЖЕНИЙ В РАЗРЕЗЕ ИЛЬЯ ПРОРОК НА Р. БОЛЬШАЯ КОША (ТВЕРСКАЯ ОБЛАСТЬ). 2019
6. Григорьев Василий Александрович, Петров А.Ю., Старикова А.А., Максимов Ф.Е., Кузнецов В.Ю., Левченко С.Б., Константинов Е.А., Карпухина Н.В.. ПЕРСПЕКТИВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ВОЗРАСТА СРЕДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В РАЗРЕЗЕ «ИЛЬЯ ПРОРОК» НА Р. БОЛЬШАЯ КОША (ТВЕРСКАЯ ОБЛАСТЬ).. 2019