

$^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраст и палеоботаническая характеристика органогенной толщи из разреза «Илья Пророк» на реке Большая Коша (бассейн Верхней Волги)*

Ф. Е. Максимов¹, А. Ю. Петров¹, В. А. Григорьев¹,
Е. А. Константинов², В. Ю. Кузнецов^{1,3}, Х. А. Арсланов¹,
С. Б. Левченко¹, Н. В. Карпухина², А. А. Старикова¹, Н. Г. Баранова¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет,
Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

² Институт географии РАН,
Российская Федерация, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29

³ Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена,
Российская Федерация, 191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 48

Для цитирования: Максимов, Ф. Е., Петров, А. Ю., Григорьев, В. А., Константинов, Е. А., Кузнецов, В. Ю., Арсланов, Х. А., Левченко, С. Б., Карпухина, Н. В., Старикова, А. А., Баранова, Н. Г. (2022). $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраст и палеоботаническая характеристика органогенной толщи из разреза «Илья Пророк» на реке Большая Коша (бассейн Верхней Волги). *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 67 (2), 243–265.

<https://doi.org/10.21638/spbu07.2022.203>

В статье приведены новые данные геохронологического изучения озерно-болотной толщи в одном из опорных разрезов Русской равнины — «Илья Пророк» (бассейн Верхней Волги, Тверская область). Основная цель исследования заключалась в установлении хроностратиграфической позиции озерно-болотных отложений. Представления о времени и климатических условиях формирования этих органоминеральных отложений существенно менялись за долгую историю их изучения. Отложения считали как интерстадиальными, так и межледниковыми, относимыми при этом к разным стратиграфическим горизонтам. Рассматривались вопросы о числе и ранге наблюдаемых климатических фаз. В итоге стала преобладать точка зрения о принадлежности толщи к лихвинскому времени. Однако до сих пор было неясно, с какой морской изотопно-кислородной стадией (МИС) сопоставляется лихвинское межледниковье. По результатам палеоботанического изучения озерно-болотной толщи разреза «Илья Пророк» было подтверждено, что ее нижняя часть может быть отнесена к теплым фазам лихвинского межледниковья, тогда как ее верхняя половина отлагалась в условиях переходного этапа к похолоданию после межледникового периода. Впервые получены сведения о радиоизотопном возрасте погребенных озерно-болотных отложений опорного разреза «Илья Пророк». По данным прямого $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирования формирование толщи началось, вероятно, не ранее ~326–260 тыс. лет назад. Возраст погребенного торфяника из ее верхней половины по результатам применения изохронного приближения $^{230}\text{Th}/\text{U}$ метода может быть соотнесен с интервалом ~256–225 тыс. лет назад. Согласно этим данным лихвинские отложения образовались не ранее МИС-9.

Ключевые слова: погребенные озерно-болотные отложения, средний плейстоцен, лихвинское межледниковье, уран-ториевый ($^{230}\text{Th}/\text{U}$) метод датирования, палеоботанические методы анализа.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-35-00571 и 20-05-00813.

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2022

1. Введение

Основной объем палеогеографических и геоморфологических данных по изучению плейстоценовых отложений Восточно-Европейской равнины был накоплен во второй половине XX в., однако до сих пор отмечается недостаток или даже отсутствие надежной геохронометрической информации о времени их накопления. Особенно остро эта проблема касается среднеплейстоценовых и более древних осадков.

Так, несмотря на длительную историю изучения погребенной толщи органогенных отложений из опорного разреза «Илья Пророк» на р. Большая Коша в бассейне Верхней Волги, дискуссия о числе и ранге наблюдаемых климатических фаз и их возрасте остается актуальной. Их считали как интерстадиальными (Москвитин, 1950), так и межледниковыми, относя к разным межледниковьям — микулинскому (Марков, 1940), одинцовскому (Столярова, 1961), лихвинскому (Гричук, 1961; Краснов, Колесникова, 1967; Величкевич, 1982; Писарева, 2012; Вербицкий и др., 2012). Последний вариант в целом стал превалировать, поскольку ископаемая флора, обнаруженная в древнеозерных (озерно-болотных) отложениях, была охарактеризована как лихвинская (Гричук 1961, 1989; Величкевич, 1982). По данным спорово-пыльцевого анализа озерно-болотной толщи разреза «Илья Пророк» выявляются два этапа потепления: ранний явно межледниковый, поздний, выделенный В. П. Гричуком (Гричук, 1989) как кошинский интерстадиал, характеризует переходную эпоху от лихвинского межледниковья к днепровскому оледенению. При этом до сих пор неясно, с какой морской изотопно-кислородной стадией (МИС) может быть сопоставлено лихвинское межледниковье. Этот теплый интервал относят к МИС-11 (Shik, 2014; Болиховская и Молодьков, 2018), МИС-9 (Писарева, 2012) либо к последовательности трех стадий от МИС-11 до МИС-9 (Рычагов и др., 2012).

Таким образом, отсутствие геохронометрической характеристики отложений разреза «Илья Пророк» оставляет неразрешенными вопросы хронологии озерно-болотной толщи и, соответственно, ее принадлежности к тому или иному стратиграфическому горизонту.

В настоящей работе приведены впервые полученные данные о возрасте озерно-болотной толщи разреза «Илья Пророк», а также результаты ее палеоботанического изучения. Основная цель исследования заключалась в установлении хроностратиграфической позиции и условий накопления озерно-болотных отложений.

2. Материалы и методы

Полевые работы и отбор образцов на разрезе «Илья Пророк» (правый берег р. Большая Коша, протяженностью примерно 100–150 м вдоль излучины реки) проводились нами в 2001, 2003, 2015 и 2018 гг. (рис. 1).

В 2001 и 2003 гг. разрез изучался фрагментарно, расчистки производились лишь в его центральной части по вертикальному профилю. Практически полностью разрез был вскрыт в 2015 г. на правом берегу в вершине излучины р. Большая Коша (абсолютная высота бровки — 218 м, координаты — 56.75504°N, 33.70382°E) и сделано его описание (Константинов и др., 2017). В 2018 г. производилась расчистка центральной части разреза на месте полевых работ 2015 г. Краткое обобщенное строение озерно-болотной толщи приведено на основе описания разреза,

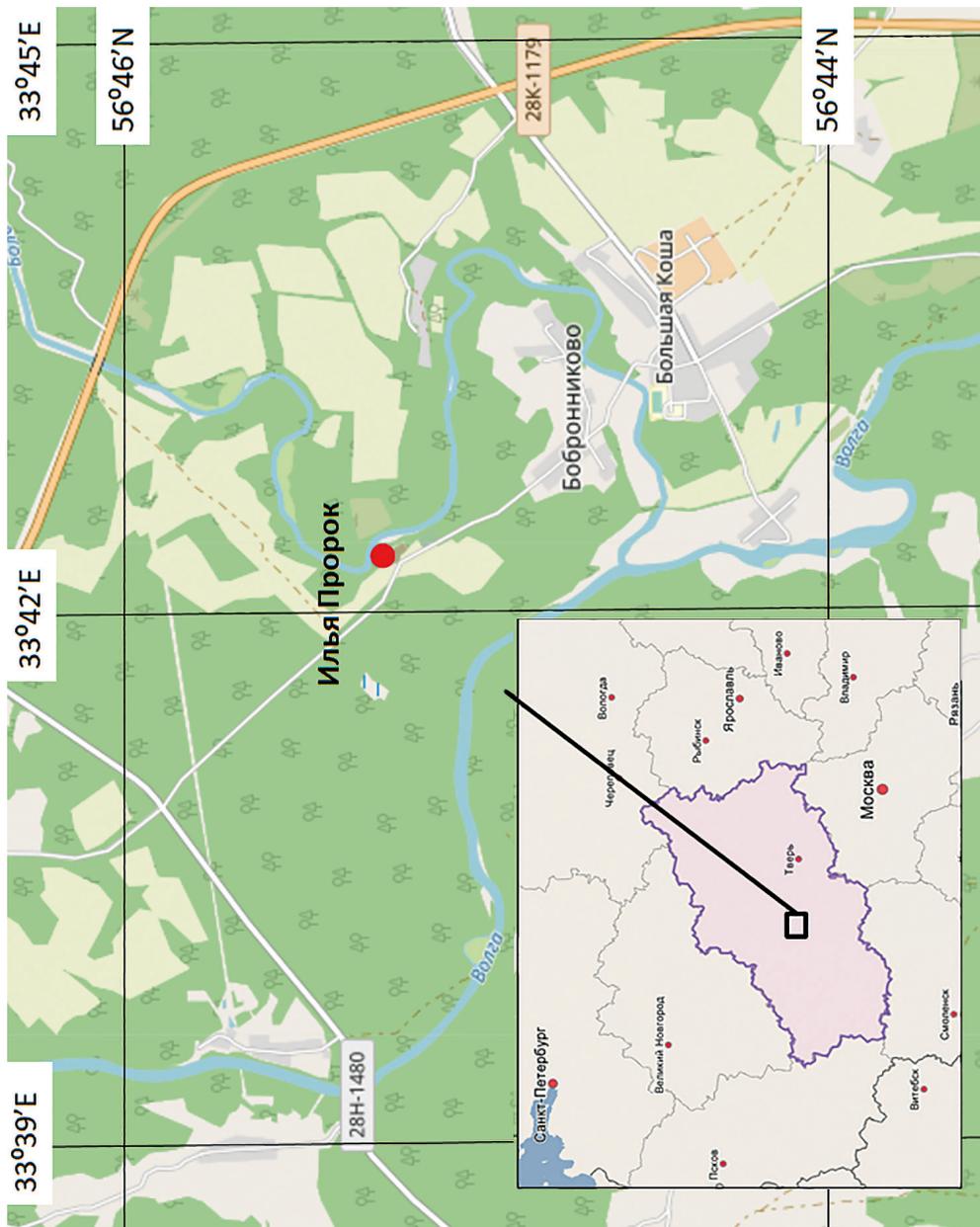


Рис. 1. Схема расположения разреза «Илья Пророк» (карта подготовлена на основе материалов из <https://yandex.ru/maps>)

сделанного в 2015 г. (Константинов и др., 2017). Сверху вниз на глубине по вертикальному профилю от бровки обнажения вскрываются (рис. 2) следующие слои.

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 алевролита 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 слабо-разложившейся древесины.

Слой 5 — 6.65–6.90 м. Торф высокой степени разложения, полутвердый, темно-коричневый, плитчатый (оскольчатый).

Слой 6 — 6.90–7.30 м. Торф низкой степени разложения, рыжевато-коричневый (при окислении темнеющий до черного), плотный, листоватый.

Слой 7 — 7.30–7.57 м. Переходный горизонт: переслаивание суглинка серого, опесчаненного и торфа (гиттии) сильно уплотненного, имеющего плитчатую структуру, оглиненного.

Слой 8 — 7.57–8.30 м. Суглинок тяжелый (глина), серый, с прослоем аргиллита.

Слой 9 — 8.30–9.60 м. Аргиллит, буровато-коричневый, твердый, плитчатый.

Слой 10 — 9.60–11.00 м. Суглинок средний, темно-серый, с сизым оттенком, с крупными пятнами темно-коричневого, серо-коричневого цвета, наблюдаются прослои черного оторфованного суглинка (9.90 м) и (10.40 м), в нижней части с включением дресвы и мелкозернистого песка.

Слой 11 — 11.00–11.20 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).

Расчистки 2001, 2003 гг. были приблизительно соотнесены по глубине от бровки разреза с описанием разреза 2015 г. (см. рис. 2).

В 2001 г. были вскрыты (сверху вниз): слой глины серой, слой гиттии плотной, оскольчатой, чередующиеся прослои светлой и темной супеси с органическими остатками, прослой торфа, слой глины серой (см. рис. 2). Наиболее характерным является слой плотной, оскольчатой гиттии, который может быть сопоставлен со слоем 9, описанным в 2015 г. как аргиллит. Происхождение аргиллита связано с диагенетическим преобразованием органо-минерального озерного ила (Константинов и др., 2017). В 2001 и 2003 гг. этот слой был назван плотной, оскольчатой гиттией (см. рис. 2).

В расчистках 2003 г. были зафиксированы слои (сверху вниз): суглинок оторфованный темно-серый; гиттия темно-коричневая, плитчатая, оскольчатая; торф низкой степени разложения, светло-бурый, быстро темнеющий на воздухе, плотный, листоватый; суглинок серый; гиттия темно-серая, пластинчатая; супесь серая; глина серая; гиттия плотная, оскольчатая (см. рис. 2). Несмотря на некоторые различия, эти отложения сопоставляются со слоями 4–9 расчистки 2015 г.

В 2001 и 2003 гг. отбирались образцы на спорово-пыльцевой и карпологический анализы, а также на датирование $^{230}\text{Th}/\text{U}$ методом. Частично и очень кратко

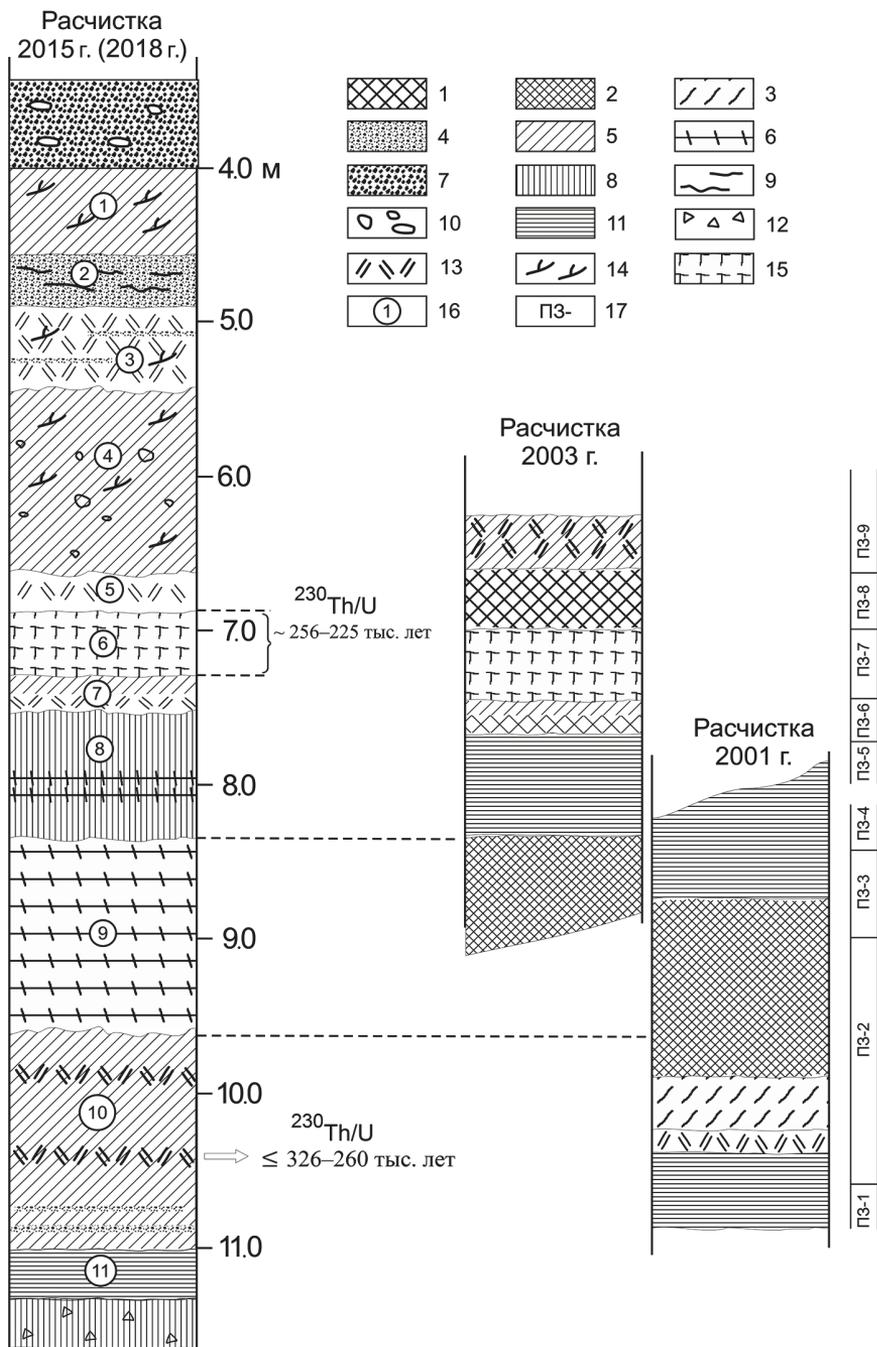


Рис. 2. Схематическое строение органоминеральных отложений разреза «Илья Пророк» (по данным авторов): 1 — гиттии; 2 — гиттия плотная, оскольчатая; 3 — супеси; 4 — песок мелкий; 5 — суглинок легкий; 6 — аргиллит; 7 — песок крупный; 8 — суглинок тяжелый; 9 — торфянистые прослои; 10 — галька; 11 — глина; 12 — щебень и дресва; 13 — торф высокой степени разложения; 14 — фрагменты древесины; 15 — торф низкой степени разложения, плотный, листоватый; 16 — номер слоя; 17 — пыльцевые зоны

результаты исследований были опубликованы (Arslanov et al., 2006). Данные радиохимического изучения плотного, листоватого торфа (слой 6) не были представительными (проанализированы всего четыре образца), что в итоге позволило получить лишь приблизительную оценку $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраста (≥ 250 тыс. лет). Поэтому в 2015 и 2018 гг. образцы повторно были отобраны из слоя 6 для его датирования $^{230}\text{Th}/\text{U}$ методом. С этой же целью в 2018 г. отобран образец оторфованного суглинка с глубины 10.40–10.45 м из слоя 10.

Определение количественного возраста средне- и позднеплейстоценовых органогенных отложений может быть выполнено $^{230}\text{Th}/\text{U}$ методом. Возможность его использования определяется сорбцией этими осадками на этапе их формирования гидрогенного урана без дочернего продукта — ^{230}Th . Если органогенные (органосодержащие) отложения в постседиментационное время являются закрытой радиометрической системой относительно изотопов урана и тория, то рассчитанный из отношений активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ возраст может считаться вполне надежным (Geyh, 2001; Максимов, Кузнецов, 2010; Maksimov et al., 2017).

Основная проблематика датирования этих отложений $^{230}\text{Th}/\text{U}$ методом заключается в необходимости использования изохронного приближения. В момент формирования отложений в них включается минеральная фракция с некоторыми количествами изотопов U и Th. Это минеральное (или первичное) изотопное загрязнение, как правило, искажает аналитические данные, поэтому для определения $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраста необходимо учесть его вклад. Количественно загрязнение может быть оценено по изотопу ^{232}Th , обычно принадлежащему только минеральной фазе. Для этого используют изохронное приближение (Geyh, 2001, 2008; Максимов, Кузнецов, 2010; Maksimov et al., 2012; Waas et al., 2011 и др.). Для серии одновозрастных образцов, в которых определено содержание изотопов U и Th, должны быть выполнены следующие условия:

- 1) в выбранных образцах должен быть один источник первичного изотопного загрязнения, т. е. значения отношений активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ в минеральной фазе не меняются от образца к образцу;
- 2) в постседиментационное время эти образцы являются закрытыми радиометрическими системами относительно изотопов U и Th.

В этом случае может быть учтен вклад первичного изотопного (в первую очередь ториевого) загрязнения и произведен расчет изохронно-корректированного (далее изохронного) возраста.

Наиболее наглядный вариант коррекции — это построение линейных регрессий в координатах $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ — $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ и $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ — $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ (рис. 3). Они характеризуют прямые зависимости между изотопными соотношениями, аналитически полученными для серии одновозрастных образцов. Отрезки отсечения на осях ординат — коррекционные индексы f и g позволяют «очистить» экспериментальные данные от первичного изотопного загрязнения и таким образом получить значения отношений активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в органической фракции каждого образца. Соответственно, тогда могут быть рассчитаны $^{230}\text{Th}/\text{U}$ детритно-корректированные датировки для каждого образца и их средневзвешенное значение, равное $^{230}\text{Th}/\text{U}$ изохронному возрасту для данной серии образцов (Geyh, 2008; Максимов, Кузнецов, 2010).

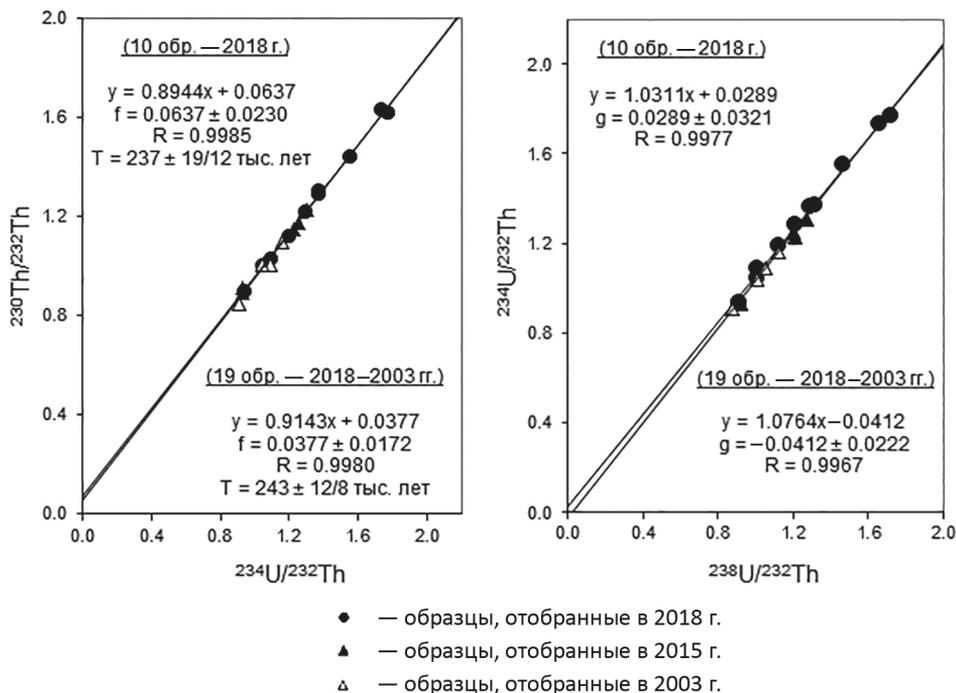


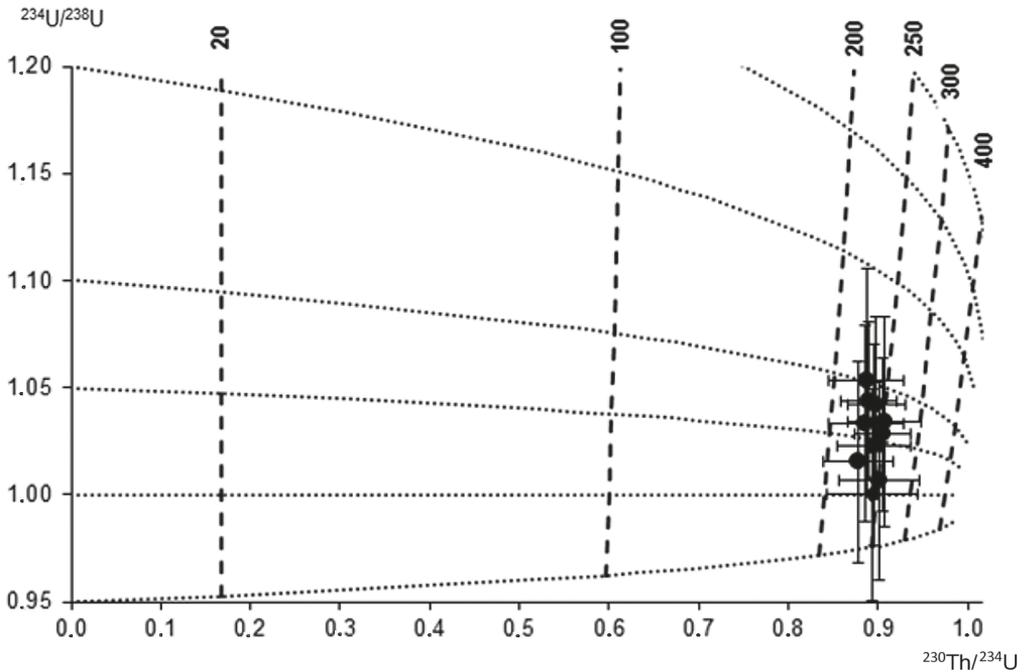
Рис. 3. Линейные (изохронные) зависимости в координатах изотопных соотношений активностей и изохронно-корректированные $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраста торфяника слоя 6 (см. рис. 2).

Необходимо отметить, что определение $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраста среднеплейстоценовых отложений является весьма непростой задачей. Из эволюционной диаграммы (рис. 4) видно, что по мере увеличения определяемого возраста требования к точности значений отношений активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ повышаются.

$^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирование погребенного торфяника (слой 6) из разреза «Илья Прок» проводилось с применением изохронного приближения. Количественный анализ изотопов U и Th в образцах торфа выполнен с учетом их полного растворения (TSD-модель) на основе радиохимической методики (Максимов, Кузнецов, 2010). Для изохронного датирования выбрана серия образцов торфа, отобранных наиболее детально (через 5 см по вертикальному профилю) в 2018 г. Учитывая небольшую мощность торфяника, с некоторых глубин отбирали по несколько образцов. Дополнительно для определения возраста торфяника использовались образцы сбора 2015 г., а также аналитические данные 2003 г. (Arslanov et al., 2006).

Для оценки $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраста нижней части озерно-болотной толщи проведен радиохимический анализ изотопов U и Th в образцах оторфованного суглинка с глубины 10.40–10.45 м из слоя 10.

Палинологическим методом изучены образцы, отобранные в 2001 и 2003 гг. через 5–10 см из слоев 4–10. Спорово-пыльцевой анализ выполнен Л. А. Савельевой (СПбГУ) и В. В. Разиной. Предварительная обработка проб выполнена по стандартной методике (Гричук, Заклинская, 1948). Сохранность большинства обнаруженных микрофоссилий плохая. Процентное содержание каждого пыльцевого и спорового таксона подсчитано от общей суммы пыльцы наземных растений, за исключением



- эволюционные кривые, отражающие изменения значений изотопных соотношений активностей в отложениях с увеличением их возраста;
- - прямые линии-изохроны соединяют точки с разными значениями изотопных соотношений активностей, но с одним и тем же возрастом, приведенным в тыс. лет;
- точки с исправленными (корректированными) значениями $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ и ^{234}U , полученные в результате коррекции аналитических данных по образцам, отобраным в 2018 г.

Рис. 4. Эволюционная диаграмма, устанавливающая связь значений изотопных отношений активностей и величины возраста отложений (при соблюдении для них условия закрытой радиометрической системы)

водных. Спорово-пыльцевые диаграммы построены с использованием программ Tilia и Tilia Graph (Grimm, 1993) и впервые публикуются в настоящей работе.

Палеокарпологические исследования проведены Ф. Ю. Величкевичем в восьми образцах, отобранных в 2003 г. из слоев 5–6. Лабораторная обработка проводилась согласно стандартной методике (Величкевич, 1982).

3. Результаты

3.1. $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирование

С целью установления $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраста на основе изохронного приближения нами было выполнено радиохимическое определение изотопов U и Th в 10 образцах (отбор 2018 г.) погребенного торфяника (слой 6) с использованием TSD-модели (табл. 1). Аналитические данные для этой серии образцов расположены в виде линейных зависимостей в координатах $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ — $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ и $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ — $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ с весьма высокими коэффициентами корреляции (см. рис. 3). Это позволило на ос-

нове методики (Geuh, 2008; Максимов, Кузнецов, 2010) избавиться от первичного изотопного загрязнения, рассчитать отношения активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в органической фракции и детритно-корректированные датировки для каждого образца. Соответственно, средневзвешенное значение из них — изохронный возраст $237 \pm 19/12$ тыс. лет (см. рис. 3). На эволюционной диаграмме образцы представлены с исправленными значениями $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ (см. рис. 4). Детритно-корректированные датировки образцов с учетом погрешностей охватывают весьма широкую временную область, примерно от 300 до 200 тыс. лет назад, однако сами аналитические точки (образцы) образуют узкую группу, соответствующую средневзвешенному значению изохронного возраста. Это обстоятельство, а также отсутствие выбросов точек из линейных зависимостей в изохронных координатах (см. рис. 3) являются одними из признаков, позволяющими сделать предположение о выполнимости предпосылок изохронного приближения $^{230}\text{Th}/\text{U}$ метода для образцов погребенного торфяника.

Аналитические данные, полученные по образцам, отобранным в 2015 г., вполне согласуются с вышеизложенными результатами. Новые точки фактически попадают на линейные зависимости, построенные по образцам отбора 2018 г. (см. рис. 3), и, следовательно, изохронный возраст практически не изменяется. Если же ввести на диаграммы еще и точки, полученные по образцам отбора 2003 г., то изохронный возраст, рассчитанный по всем образцам, составит $243 \pm 12/8$ тыс. лет (см. рис. 3). Это значение соответствует дате, рассчитанной только по образцам 2018 г.

Кроме того, был выполнен радиохимический анализ прослая оторфованного суглинка с глубины 10.40–10.45 м слоя 10 (табл. 1). Отношения активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U} = 0.9270 \pm 0.0161$ и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = 0.9975 \pm 0.0167$ позволили вычислить некорректированный $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраст $287 \pm 39/27$ тыс. лет. С учетом того, что значение отношений активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ фактически равно 1, можно сделать два предположения. Либо для этого прослая выполнялись условия закрытой радиометрической системы относительно изотопов U и Th, либо в постседиментационное время могло происходить предпочтительное выщелачивание изотопов U. 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 тыс. лет назад, что не противоречит $^{230}\text{Th}/\text{U}$ изохронному возрасту торфяника слоя 6.

3.2. Палинологический анализ

В настоящей работе приводятся ранее неопубликованные две спорово-пыльцевые диаграммы, выполненные Л. А. Савельевой (СПбГУ) по образцам отложений разреза «Илья Пророк», отобранных в 2001 и 2003 гг.

В 2001 г. методом спорово-пыльцевого анализа изучены образцы плотной, оскольчатой гиттии, а также перекрывающих и подстилающих ее отложений, которые, по нашему мнению, коррелируют со слоями 8–10 (см. рис. 2). В каждом образце было подсчитано от 500 до 800 зерен. На диаграмме (рис. 5, б) выделены четыре пыльцевые зоны (ПЗ), которые ранее (Arslanov et al., 2006) были сопоставлены с зонами L₁, L₂, L₃, L₄ лихвинского межледниковья по В. П. Гричуку (Гричук, 1989). Описание зон дано снизу вверх.

Таблица 1. Результаты радиохимического анализа изотопов урана и тория в образцах органических отложений озерно-болотной толщи из разреза «Илья Пророк»

Глубина, м	Зола, %	^{238}U	^{234}U	расп./мин на г		^{232}Th	^{230}Th	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$
				^{234}U	^{232}Th					
TSD-модель: образцы торфяника слоя 6 — отбор 2018 г.										
6.95–7.00	26.28	0.9388±0.0217	0.9715±0.0223	0.9341±0.0326	0.9276±0.0324	0.9616±0.0401	1.0348±0.0234			
7.00–7.05	18.52	0.6018±0.0146	0.6373±0.0152	0.5988±0.0198	0.5343±0.0181	0.9395±0.0383	1.0590±0.0257			
7.05–7.10	14.46	0.4029±0.0087	0.4294±0.0091	0.4068±0.0082	0.3333±0.0071	0.9473±0.0276	1.0658±0.0257			
7.05–7.10	10.55	0.2448±0.0067	0.2559±0.0070	0.2408±0.0071	0.1867±0.0059	0.9412±0.0379	1.0451±0.0345			
7.10–7.15	11.36	0.2793±0.0081	0.2951±0.0084	0.2814±0.0080	0.2160±0.0067	0.9535±0.0383	1.0565±0.0358			
7.10–7.15	12.73	0.3589±0.0072	0.3816±0.0075	0.3550±0.0077	0.2457±0.0059	0.9302±0.0271	1.0633±0.0232			
7.15–7.20	9.57	0.1941±0.0040	0.2029±0.0042	0.1909±0.0043	0.1170±0.0030	0.9410±0.0288	1.0455±0.0245			
7.15–7.20	8.53	0.1607±0.0048	0.1658±0.0049	0.1515±0.0042	0.0936±0.0031	0.9135±0.0369	1.0321±0.0385			
7.20–7.25	19.00	0.5142±0.0144	0.5562±0.0152	0.5256±0.0146	0.5105±0.0143	0.9450±0.0369	1.0816±0.0357			
7.20–7.25	25.69	0.7259±0.0177	0.7488±0.0181	0.7199±0.0294	0.7981±0.0323	0.9615±0.0456	1.0316±0.0273			
TSD-модель: образцы торфяника слоя 6 — отбор 2015 года										
6.92–7.00	16.62	0.6476±0.0137	0.6619±0.0139	0.6226±0.0143	0.5076±0.0124	0.9407±0.0293	1.0221±0.0241			

7.10–7.20	21.24	0.9412±0.0226	0.9818±0.0233	0.9210±0.0277	0.7850±0.0244	0.9381±0.0360	1.0431±0.0259
7.20–7.30	11.77	0.3959±0.0106	0.4011±0.0107	0.3746±0.0123	0.3268±0.0112	0.9340±0.0396	1.0130±0.0321
7.30–7.40	27.51	1.0025±0.0208	1.0115±0.0209	0.9659±0.0255	1.0838±0.0280	0.9549±0.0320	1.0090±0.0221
7.30–7.40	27.51	0.9565±0.0212	0.9672±0.0214	0.9500±0.0274	1.0385±0.0293	0.9822±0.0357	1.0112±0.0237
TSD-модель: образцы торфяника слоя 6 — отбор 2003 г.							
7.05–7.10	26.27	0.6660±0.0120	0.6880±0.0120	0.6450±0.0100	0.7600±0.0110	0.9375±0.0219	1.0330±0.0259
7.10–7.15	28.29	1.1990±0.0240	1.2350±0.0250	1.1420±0.0180	1.1350±0.0180	0.9247±0.0237	1.0300±0.0293
7.15–7.20	21.18	0.7850±0.0160	0.8110±0.0170	0.7650±0.0090	0.7000±0.0080	0.9433±0.0227	1.0331±0.0302
7.25–7.30	26.30	0.7370±0.0170	0.7610±0.0170	0.7330±0.0130	0.7310±0.0130	0.9632±0.0275	1.0326±0.0332
TSD-модель: образец оторфованного суглинка из слоя 10 — отбор 2018 г.							
10.40–10.45	72.69	8.5438±0.1013	8.5224±0.1010	7.9006±0.1007	2.4619±0.0394	0.9270±0.0161	0.9975±0.0167

ПЗ-1 характеризуется спорово-пыльцевыми спектрами двух образцов. Преобладает пыльца *Betula sect. Albae* (70–75%) и *Pinus* (5–10%), пыльца *Picea*, *Alnus* и *Larix* присутствует в количестве 1–2%. Пыльца трав составляет около 15%, преобладают *Cyperaceae* (5–15%) и *Poaceae* (2–3%), а количество пыльцы *Ariaceae*, *Artemisia*, *Asteraceae* колеблется в пределах 1–10%. Споровые растения представлены в основном спорами *Sphagnum* и различными видами рода *Lycopodium*.

ПЗ-2 характеризуется господством пыльцы *Picea* (до 70%) и *Pinus* (до 60%), а также *Alnus* (5–30%). Появляется пыльца широколиственных пород, сначала *Ulmus*, затем *Tilia*, *Quercus* и *Carpinus*, а также пыльца *Corylus*. Среди спор обнаружены единичные зерна *Osmunda* sp.

В ПЗ-3 на фоне преобладания пыльцы *Picea* (25–35%) и *Alnus* (15–35%) резко возрастает количество пыльцы термофильных пород деревьев, таких как *Carpinus* (более 20%) и *Quercus* (более 10%). Кроме того, только в этой зоне обнаружена пыльца *Abies* (от 2 до 15%).

ПЗ-4 отличается обилием пыльцы *Alnus* (до 50%), небольшим максимумом пыльцы *Betula sect. Albae* (25%) и снижением роли пыльцы *Picea*.

В палинозонах 2, 3 и 4 пыльца термофильных пород деревьев присутствует в значительных количествах (особенно пыльца граба и дуба), что позволяет считать отложения этих зон сформировавшимися в теплый межледниковый период, а ПЗ-3 — межледниковым климатическим оптимумом. Характер спорово-пыльцевых спектров, в том числе существенная роль пыльцы *Picea*, присутствие пыльцы *Abies*, преобладание пыльцы *Carpinus* среди широколиственных пород в климатическом оптимуме позволили предположить, что отложения верхней части 10 слоя, 9 слоя и частично 8 слоя отложений разреза «Илья Пророк» формировались во время лихвинского межледниковья (Arslanov et al., 2006).

Вторая спорово-пыльцевая диаграмма (рис. 5, а) построена по образцам, отобранным в 2003 г. из слоев 4–8. Все образцы содержали от 300 до 800 микрофоссилий в основном плохой сохранности. Исключение составили пробы из прослая верхней части торфяника (слой 6), где пыльца и споры либо отсутствовали, либо обнаружены лишь единичные зерна. На спорово-пыльцевой диаграмме выделено 5 пыльцевых зон (ПЗ-5–ПЗ-9). В пыльцевых зонах 5, 6, 8 и 9 пыльца травянистых растений присутствует в значительных количествах — от 20 до 40% и представлена *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Poaceae* и *Cyperaceae*. Пыльца древесных пород составляет 50–80%, среди которых преобладающим компонентом является пыльца *Pinus* и *Betula sect. Albae*, в очень небольшом количестве представлена пыльца *Alnus* и *Picea*. Характерным является полное отсутствие пыльцы широколиственных пород и лещины. Единичные зерна пыльцы *Quercus*, *Carpinus* и *Tilia* встречены в ПЗ-5. В конце ПЗ-8 и начале ПЗ-9 обнаружены споры типичного представителя тундровой флоры — *Selaginella selaginoides*. В средней части разреза (ПЗ-7 и частично ПЗ-8), соответствующей слоям 6 и частично 5, фиксируется увеличение пыльцы древесных пород до 90%, с доминированием пыльцы *Pinus* (до 80%). В целом данные спорово-пыльцевого анализа свидетельствуют о том, что формирование слоев 4–8 происходило в относительно прохладное время. Лесные ценозы были представлены в основном березовыми и сосновыми лесами (ПЗ-6–ПЗ-8), широкое распространение имели открытые пространства, в составе растительности которых преобладали полыни, маревые и злаковые (ПЗ-5 и ПЗ-9).

3.3. Карпобогический анализ

Результаты приведены согласно заключению, сделанному Ф. Ю. Величкевичем. Растительные остатки обнаружены в образцах, отобранных в 2003 г. из слоя плотного листоватого торфа и перекрывающей его оскольчатой гиттии (слои 6 и 5). Всего определены почти 40 таксонов макроостатков, преимущественно травянистых растений (табл. 2).

Группа древесных пород представлена *Picea*, *Pinus*, *Larix*, *Betula*, установленным по немногочисленным и даже единичным остаткам, что указывает на ограниченное распределение лесных сообществ и на упрощенный их состав. В группе травянистых растений представлено несколько вымерших плейстоценовых видов (*Potamogeton perforatus*, *P. sarjanensis*, *Caulinia goretzkyi*), свойственных для доднепровских межледниковых флор Восточно-Европейской равнины (Величкевич, 1982). Особенно важна находка последнего вида, являющегося одним из характерных элементов лихвинских межледниковых флор.

4. Обсуждение результатов

Геохронологические данные получены нами по образцам отложений разреза «Илья Пророк», отобранным в разные годы. Предложенное выше сопоставление слоев из расчисток 2001, 2003, 2015 и 2018 гг. имеет вполне конкретные основания. Главным реперным слоем является плотный, листоватый торф низкой степени разложения. В расчистках 2003, 2015 и 2018 гг. этот слой был близок по мощности и располагался примерно на одних и тех же глубинах от бровки разреза. Перекрывающие его слои, несмотря на разночтения в описаниях 2003 и 2015 гг., вполне сопоставляются друг с другом. Так, оскольчатый темно-коричневый торф высокой степени разложения (2015 г.) подобен оскольчатой темно-коричневой гиттии (2003 г.). Также наблюдается литологическое соответствие подстилающих слоев. Другой реперный горизонт — это слой, описанный в 2001 и 2003 гг. как плотная, оскольчатая гиттия, а в 2015 г. как аргиллит. Его мощность и глубина (от бровки обнажения) в описании этих трех расчисток примерно одинакова. Механизм формирования данного типа отложений позволяет использовать оба термина для их обозначения (Константинов и др., 2017).

Таким образом, можно считать, что отложения, вскрытые в 2001 и 2003 гг. в средней части разреза, обоснованно сопоставляются со слоями 2015 г., как и было предложено выше (см. рис. 2). В результате новые геохронологические данные можно увязать в единую картину и соотносить с ранее полученной информацией (в 1960-е годы прошлого века) по разрезу «Илья Пророк» (Гричук, 1961, 1989). Облегчает эту задачу локализация озерно-болотной толщи практически на одних и тех же глубинах от бровки разреза.

Спорово-пыльцевые спектры ПЗ-1–ПЗ-4 (см. рис. 2 и 5, б), полученные для отложений плотной, оскольчатой гиттии или аргиллита (слой 9) и серого суглинка (слой 8), сопоставляются с зонами L₂–L₄ лихвинского межледниковья, выделенными В. П. Гричуком в тонкодетритовой и грубодетритовой гиттиях на глубинах 9.6–8.5 м от бровки разреза (Гричук, 1989). Отличия заключаются в присутствии пыльцы *Corylus*, которой нет на диаграмме В. П. Гричука. Вместе с тем соблюдается

характерная последовательность изменений растительности, что является одним из важных критериев корреляции пыльцевых диаграмм (Гричук, 1978). Смена соответствующих пыльцевых зон, большое участие в спектрах ели, постоянное присутствие пихты и преобладание граба среди широколиственных пород в климатическом оптимуме позволяет предположить, что вскрытые нами отложения аргиллита (плотной, оскольчатой гиттии) и перекрывающего его суглинка формировались во время лихвинского межледниковья.

Выше по разрезу сопоставление спорово-пыльцевых спектров, полученных нами в 2003 г. (см. рис. 5, а), с палеоботаническими данными В. П. Гричука (Гричук, 1989) весьма затруднено, что может быть связано с разной детальностью палинологического анализа (в нашем случае анализ проведен с большим разрешением по глубине отложений). Тем не менее некоторая корреляция прослеживается. Отложения по-прежнему относятся к органо-минеральной толще. В нашем описании отмечен торфяник (слой 6), который наблюдался В. П. Гричуком (Гричук, 1989) примерно на такой же глубине, как и у нас. Спектры ПЗ-5–ПЗ-9 в некотором приближении можно сравнить с зонами К-2 и К-3. В ПЗ-5 обнаружены единичные зерна пыльцы *Quercus*, *Carpinus* и *Tilia*, так же как и в центральной части зоны К-2. Далее в ПЗ-6 отмечается доминирование пыльцы *Betula sect. Albae* (до 80%), в ПЗ-7 и П-8 — пыльцы *Pinus* (до 80%), что согласуется с такой же последовательностью распределения этих пород в зоне К-3. Важным представляется следующее обстоятельство: на диаграмме В. П. Гричука в зонах К-2 (вторая половина) и К-3 фиксируются небольшие содержания пыльцы *Larix*, тогда как у нас ее на спорово-пыльцевой диаграмме нет (см. рис. 5, а). Однако карпологический анализ показал наличие небольшого количества семян *Larix* в торфе и перекрывающей его гиттии (см. табл. 2), т. е. слоям, соответствующим ПЗ-7 и ПЗ-8. Таким образом, и здесь выявляется сходство. Обнаружение в ПЗ-8, ПЗ-9 и К-2, К-3 спор *Selaginella selaginoides* — представителя тундровой флоры — также подтверждает наличие корреляции палеоботанических данных, полученных в середине XX в. и в 2001 г. У нас пропущены зоны, соответствующие К-1 и частично К-2 с пыльцой *Abies*, что, вероятно, связано с неполным изучением слоя 8.

ПЗ-5–ПЗ-9, как и К-2 (вторая половина) и К-3, характеризуют относительно прохладный интервал, когда произрастали березовые и сосновые леса с относительно небольшим участием ели, с карликовой березой. Открытые пространства из полыни, маревых и злаковых занимали значительные территории.

Результаты палеокарпологического изучения отложений в той или иной степени поддерживают и дополняют палинологические данные. В отложениях плотного торфа и перекрывающей его гиттии (слои 6 и 5) обнаружены макроостатки древесной растительности, отраженной (за исключением *Larix*) в ПЗ-7 и ПЗ-8. Существенно пополняется состав травянистой растительности. Находки вымерших плейстоценовых видов *Potamogeton perforatus*, *P. sarjanensis*, *Caulinia goretskyi* свидетельствуют о доднепровских межледниковых флорах Восточно-Европейской равнины, а последний из них относится к характерным элементам лихвинского межледниковья (Величкевич, 1982). Отсутствие во флоре термофильных травянистых растений и широколиственных древесных пород позволяет предположить, что она может быть отнесена к постоптимальным и заключительным фазам лихвинского межледниковья. В. П. Гричук помещает растительные зоны К-2 (вторая половина) и К-3

Таблица 2. Результаты карпологического анализа образцов плотного торфа и перекрывающей гитти, отобранных в 2003 г.

Таксон	Тип остатков	Глубина отбора проб, м										
		6.62-6.72	6.72-6.82	6.82-6.92	6.92-7.00	7.00-7.12	7.12-7.22	7.22-7.32	7.32-7.44			
<i>Chara</i> sp.	оогонии	4	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Selaginella selaginoides</i> (L.) P.Beavn.	мегаспоры	20	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Isoetes</i> cf. <i>lacustris</i> L.	мегаспоры	7	4	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Picea</i> sect. <i>Eupricea</i> Willkm.	хвоя	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Pinus sylvestris</i> L.	семена	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-
<i>Larix</i> sp.	семена	1	4	2	1	3	3	4	5	-	-	-
<i>Sparganium</i> cf. <i>emersum</i> Rehm.	эндокарпы	-	2	1	-	2	-	-	-	-	-	1
<i>Potamogeton alpinus</i> Balb.	эндокарпы	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>P.friesii</i> Rupr.	эндокарпы	3	10	20	3	-	-	-	-	-	-	-
<i>P. gramineus</i> L.	эндокарпы	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>P. obtusifolius</i> Mert. et W.D. J. Koch	эндокарпы	1	2	3	59	4	-	-	-	-	-	3
<i>P. perforatus</i> Wieliczk.	эндокарпы	1	1	-	-	-	-	1	-	1	-	-
<i>P. praelongus</i> Wulf.	эндокарпы	4	8	1	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>P. pusillus</i> L.	эндокарпы	-	-	-	-	-	-	9	2	2	-	2
<i>P. rutilus</i> Wölf.	эндокарпы	8	10	2	-	-	-	27	21	71	-	71
<i>P. sarjanensis</i> Wieliczk.	эндокарпы	34	64	43	2	-	-	5	3	22	-	22
<i>Caulinia goretskyi</i> Dorof.	семена	-	2	1	-	-	-	4	-	3	-	3
<i>Alismaplantago-aquatica</i> L.	плоды	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i> (C. C. Gmel.) Palla	плоды	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-

<i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roem. et Schult.	плоды	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
<i>Carex diandra</i> Schrank	плоды	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Carex</i> sp. div.	плоды	8	8	19	32	253	210	142	332												
<i>Betula sect. Albae</i> Rgl.	плоды	-	-	2	3	6	11	1	26												
<i>B. humilis</i> Schrank	плоды	-	-	-	-	3	1	-	-												
<i>Urtica dioica</i> L.	плоды	-	2	-	-	-	-	-	-												
<i>Polygonum</i> sp.	плоды	-	-	-	-	-	1	-	-												
<i>Stellaria palustris</i> Retz.	семена	-	-	-	-	-	-	1	-												
<i>Caltha palustris</i> L.	семена	-	-	-	-	-	-	-	1												
<i>Ranunculus sceleratus</i> L.	плоды	3	10	1	-	2	-	-	-												
<i>R. flammula</i> L.	плоды	-	-	-	-	-	1	1	1												
<i>Comarum palustre</i> L.	плоды	-	-	-	1	3	2	12	1												
<i>Potentilla</i> sp.	плоды	3	-	1	-	-	-	-	-												
<i>Euphorbia palustris</i> L.	семена	-	-	-	-	-	1	-	1												
<i>Hippuris vulgaris</i> L.	плоды	-	-	-	-	1	9	1	12												
<i>Cicuta virosa</i> L.	плоды	-	-	-	-	-	-	-	2												
<i>Vaccinium</i> sp.	семена	-	-	-	-	-	-	-	2												
<i>Lysimachia thyrsoiflora</i> L.	семена	-	-	-	-	-	-	-	-												
<i>Menyanthes trifoliata</i> L.	семена	3	2	7	7	83	8	7	-												
<i>Bidens cernua</i> L.	семена	-	-	-	-	-	-	-	1												

во вторую половину переходной эпохи от лихвинского межледникового к днепровскому оледенению, при этом зону К-2 он считает межстадиальным, или «кошинским», потеплением (Гричук, 1989).

Таким образом, на основании сопоставления наших и предыдущих (Гричук, 1961, 1989) палеоботанических данных можно предположить, что отложения центральной части органоминеральной толщи (см. рис. 2, слои 9–4) сформировались во временном интервале, включающем фазы лихвинского межледникового с климатическим оптимумом и переходные этапы к днепровскому оледенению.

Важно понять, как соотносятся данные о $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возрасте, полученные для слоев 10 и 6. Отложения этих слоев относятся к органоминеральной толще. При этом вся толща, представляющая собой слоистые озерно-болотные отложения мощностью около 7 м (слои 1–10), предположительно отлагалась без крупных перерывов в ходе одного межледникового периода (Константинов и др., 2017). Следовательно, $^{230}\text{Th}/\text{U}$ данные так или иначе указывают на его хронологию.

Теперь еще раз обратимся к результатам $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирования погребенного торфяника (слой 6). Необходимо отметить, что в датируемой области (> 200 тыс. лет) даже относительно небольшие вариации значений скорректированных отношений активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ существенно изменяют возраст (см. рис. 4). Идеальное соблюдение условий полной замкнутости радиометрической системы относительно изотопов урана и тория достаточно сложно представить. По крайней мере, это возможно, если мы фиксируем коэффициенты корреляции для изохронных зависимостей, равные единице или очень близкие к единице. Поэтому в нашем случае полностью исключать аккумуляцию изотопов U (что более вероятно, чем Th) или, наоборот, их выщелачивание в небольших количествах в постседиментационное время нельзя. Все это ведет к изменению изохронного возраста. Например, если аккумуляция U в постседиментационное время касалась в большей степени образцов с наименьшим первичным изотопным загрязнением, то в координатах $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ — $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ наклон линейной зависимости будет меньше и, соответственно, проявляется омоложение. Если же в постседиментационное время в большей степени захватывали U будут образцы с наибольшим первичным изотопным загрязнением, то линейная зависимость будет иметь больший наклон и, соответственно, возраст увеличивается. Подобные схемы можно показать и для других вариантов. В нашем случае важно отметить, что коэффициенты корреляции весьма высокие (> 0.995), поэтому можно предполагать лишь относительно небольшие отклонения изохронного возраста.

На основании вышеизложенного можно предположить два варианта интерпретации полученных $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возрастных данных.

Если считать, что $^{230}\text{Th}/\text{U}$ изохронный возраст слоя 6 достаточно близок к реальности или даже несколько удревнен, т. е. погребенный торфяник формировался в интервале ~ 256–225 тыс. лет назад или чуть позже, то лихвинское межледниковье и последовавшее за ним похолодание с «кошинским» интерстадиалом относятся к МИС-7 (Bassinot et al., 1994). Похолодание может относиться к концу МИС-7. В данном случае важно еще раз отметить, что $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датировка оторфованного суглинка из низа озерно-болотной толщи — $287 \pm 39/27$ тыс. лет — является прямой или некорректированной и является максимально возможной оценкой возраста. То есть возраст этого слоя, скорее всего, может быть и меньше.

Согласно другому варианту предполагается небольшое омоложение $^{230}\text{Th}/\text{U}$ изохронного возраста слоя 6. Тогда лихвинское межледниковье относится к МИС-9, а последовавшее за ним похолодание с «кошинским» интерстадиалом к МИС-8.

Какой из этих вариантов может быть более реальным с позиции экспериментальных данных, сказать весьма сложно.

Таким образом, по данным $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирования органоминеральной толщи разреза «Илья Пророк» с большой долей вероятности можно утверждать, что лихвинское межледниковье наступило не ранее МИС-9. Представления о более древнем возрасте (МИС-11) лихвинских и перекрывающих их отложений не подтвердились. Полученные результаты коррелируют с $^{230}\text{Th}/\text{U}$ оценками возраста гольштейнских межледниковых отложений в Германии (Geyh and Miller, 2005), сопоставляемых с лихвинскими осадками на Русской равнине (Shik, 2014).

5. Заключение

Основное наше внимание было обращено на получение первых данных о $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возрасте погребенной озерно-болотной толщи в известном опорном разрезе «Илья Пророк». На их основе, а также с помощью палеоботанического изучения, проведенного в начале XXI в., предполагалось определить хроностратиграфическую позицию этих отложений.

Результаты палинологического и палеокарпогического изучения озерно-болотных отложений в целом подтверждают данные прошлых исследований (Гричук, 1961; 1989). Последовательность пыльцевых зон, выявленная В. П. Гричуком и включающая зоны лихвинского межледниковья L_1-L_4 и переходные фазы к днепровскому оледенению К-1–К-3, у нас отражена в зонах ПЗ-1–ПЗ-9. Следует отметить, что у нас отсутствуют палинозоны, коррелирующие с К-1 и частично К-2.

По результатам работы можно сделать несколько выводов.

1. Впервые для лихвинских отложений опорного разреза «Илья Пророк» получена оценка их количественного возраста.

Для оторфованного суглинка (слой 10), отнесенного к отложениям первой половины лихвинского межледниковья, получена максимально возможная оценка $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраста — $287 \pm 39/27$ тыс. лет.

Для торфяного слоя 6, отлагавшегося во время переходных фаз от лихвинского межледниковья к днепровскому оледенению, $^{230}\text{Th}/\text{U}$ изохронный возраст составил $237 \pm 19/12$ тыс. лет по серии образцов, отобранных в 2018 г. и $243 \pm 12/8$ тыс. лет по серии образцов, отобранных в разных расчистках 2003–2018 гг.

2. Согласно полученным геохронометрическим данным образование лихвинских межледниковых отложений произошло не ранее МИС-9.

3. Для уточнения временного интервала лихвинского межледниковья следует провести $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирование отложений аргиллита (каменистой гиттии), органосодержащих слоев из верха озерно-болотной толщи, а также ОСЛ датирование вмещающих ее минерогенных осадков разреза «Илья Пророк».

Благодарности

Авторы признательны Л. А. Савельевой (СПбГУ) за выполнение спорово-пыльцевого анализа образцов отложений разреза «Илья Пророк» и интерпретацию по-

лученных в ходе него данных и В. В. Разиной за выполнение спорово-пыльцевого анализа образцов этого разреза.

Литература

- Болиховская, Н. С., Молодьков, А. Н. (2018). Климато-хроностратиграфическая схема неоплейстоцена Восточно-Европейской равнины: периодизация, корреляция и возраст климатических событий. В: А. Ю. Гладенков, отв. ред., *Неоген и четверть России: стратиграфия, события и палеогеография*. М.: ГЕОС, 99–110.
- Величквич, Ф. Ю. (1982). *Плейстоценовые флоры ледниковых областей Восточно-Европейской равнины*. Минск: Наука и техника.
- Вербицкий, В. Р., Вербицкий, И. В., Васильева, О. В., Саванин, В. В. и др. (2012). *Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Сер. Центрально-Европейская. Листы О-35 — Псков, (N-35), О-36 — Санкт-Петербург. Объяснительная записка*. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ.
- Гричук, В. П. (1961). Ископаемые флоры как палеонтологическая основа стратиграфии четвертичных отложений. В: К. К. Марков, отв. ред., *Рельеф и стратиграфия четвертичных отложений Северо-Запада Русской равнины*. М.: Изд-во АН СССР, 25–71.
- Гричук, В. П. (1978). Методика интерпретации палеоботанических материалов для решения задач стратиграфии и корреляции позднего кайнозоя. В: *Палинологические исследования на северо-востоке СССР* Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 5–22.
- Гричук, В. П. (1989). *История флоры и растительности Русской равнины в плейстоцене*. М.: Наука.
- Гричук, В. П., Заклинская, Е. Д. (1948). *Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии*. М.: Географгиз.
- Константинов, Е. А., Мухаметшина, Е. О., Карпухина, Н. В. (2017). Условия залегания и свойства погребенных органогенных отложений бассейна реки Большой Коши (Тверская область). *Естественные и технические науки*, 5, 56–61.
- Краснов, И. И., Колесникова, Т. Д. (1967). Новые данные о межледниковых отложениях в бассейне Верхней Волги. *Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода*, 31, 140–146.
- Максимов, Ф. Е., Кузнецов, В. Ю. (2010). Новая версия $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирования верхне- и среднеплейстоценовых отложений. *Вестник СПбГУ. Сер. 7*, 4, 94–107.
- Москвитин, А. И. (1950). *Вюрмская эпоха (неоплейстоцен) в Европейской части СССР*. М.: Изд-во АН СССР.
- Писарева, В. В. (2012). Реконструкция палеоландшафтов лихвинского межледниковья и последующего похолодания на территории Восточной Европы. *Известия РАН. Сер. Географическая*, 3, 54–70.
- Рычагов, Г. И., Судакова, Н. Г., Антонов, С. И. (2012). О ледниковой стратиграфии и палеогеографии центра Восточно-Европейской равнины. *Вестник Московского университета. Сер. 5*, 1, 36–44.
- Столярова, Т. И. (1961). *Карта Четвертичных образований. Лист О-36-XXVIII, масштаб 1:200 000*. Ленинград: ВСЕГЕИ.
- Arslanov, Kh. A., Maksimov, F. E., Kuznetsov, V. Yu., Chernov, S. B., Savelieva, L. A., Baranova, N. G. and Razina, V. V. (2006). Absolute chronology and palinology research on Upper and Middle Pleistocene interglacial deposits in the Russian Plain. In: *Pleistocene Environments in Eurasia Chronology, Paleoclimate and Teleconnection*. Hannover: INTAS Final Workshop, 1–6.
- Bassiot, F. C., Labeyrie, L. D., Vincent, E., Quidelleur, X., Shackleton, N. and Lancelot, Y. (1994). The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 126, 91–108.
- Geyh, M. A. (2001). Reflections on the $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating of dirty material. *Geochronometria*, 20, 9–14.
- Geyh, M. A. (2008). Selection of suitable data sets improves $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dates of dirty material. *Geochronometria*, 30, 69–77. <https://doi.org/10.2478/v10003-008-0001-1>
- Geyh, M. A. and Miller, H. (2005). Numerical $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating and palinological review of the Holsteinian/Hoxnian Interglacial. *Quaternary Science Reviews*, 24, 1861–1872. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.01.007>
- Grimm, E. C. TILIA 2.0 Version b.4 (Computer Software) (1993). Springfield: Illinois State Museum, Research and Collections Center.

- Maksimov, F. E., Laukhin, S. A., Arslanov, Kh. A., Kuznetsov, V. Yu. and Shilova, G. N. (2012). First $^{230}\text{Th}/\text{U}$ date of Middle Pleistocene peat bog in Siberia (key section Krivosheino, Western Siberia). *Geochronometria*, 39 (4), 241–251. <https://doi.org/10.2478/s13386-012-0014-4>
- Maksimov, F. E., Savelieva, L. A., Laukhin, S. A., Kuznetsov, V. Yu., Arslanov, Kh. A., Petrov, A. Yu., Grigoriev, V. A. and Levchenko, S. B. (2017). New Data on Age and Conditions of Buried Organic-Rich Sediments Formation in the Central Ob River. *Contemporary Problems of Ecology*, 10 (4), 370–379. <https://doi.org/10.1134/S1995425517040047>
- Shik, S. M. (2014). A modern approach to the Neopleistocene stratigraphy and paleogeography of Central European Russia. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 22 (2), 219–230.
- Waas, D., Kleinmann, A. and Lepper, J. (2011). Uranium-series dating of fen peat horizons from pit Nachtigall in northern Germany. *Quaternary Int.*, 241, 111–124. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.09.010>

Статья поступила в редакцию 26 марта 2020 г.
Статья рекомендована к печати 18 апреля 2022 г.

Контактная информация:

Максимов Фёдор Евгеньевич — maksimov-fedor@yandex.ru

Петров Алексей Юрьевич — petrovalexey1987@gmail.com

Григорьев Василий Александрович — v.a.grigorev@spbu.ru

Константинов Евгений Александрович — eakonstantinov@yandex.ru

Кузнецов Владислав Юрьевич — v_kuzya@mail.ru

Арсланов Хикматулла Адиевич — arslanovkh@mail.ru

Левченко Снежана Богдановна — golsneg@mail.ru

Карпучкина Наталья Валерьевна — natalia_karpukhina@mail.ru

Старикова Анна Александровна — annstarikova88@gmail.com

Баранова Надежда Григорьевна — n.g.baranova@spbu.ru

$^{230}\text{Th}/\text{U}$ age and paleobotanic description of the organic-rich layer from the “Ilya Prorok” section on the Bolshaya Kosha River (Upper Volga basin)*

F. E. Maksimov¹, A. Yu. Petrov¹, V. A. Grigoriev¹, E. A. Konstantinov², V. Yu. Kuznetsov^{1,3}, Kh. A. Arslanov¹, S. B. Levchenko¹, N. V. Karpukhina², A. A. Starikova¹, N. G. Baranova¹

¹ St Petersburg State University,

7–9, Universitetskaya nab., St Petersburg, 199034, Russian Federation

² Institute of Geography, Russian Academy of Sciences,

29, Staromonetnyy per., Moscow, 119017, Russian Federation

³ The Herzen State Pedagogical University of Russia,

48, nab. r. Moiki, St Petersburg, 191186, Russian Federation

For citation: Maksimov, F. E., Petrov, A. Yu., Grigoriev, V. A., Konstantinov, E. A., Kuznetsov, V. Yu., Arslanov, Kh. A., Levchenko, S. B., Karpukhina, N. V., Starikova, A. A., Baranova, N. G. (2022). $^{230}\text{Th}/\text{U}$ age and paleobotanic description of the organic-rich layer from the “Ilya Prorok” section on the Bolshaya Kosha River (Upper Volga basin). *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 67 (2), 243–265. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2022.203> (In Russian)

This article presents new data from geochronological study the lake-bog organic-rich layer from of the “Ilya Prorok” sequence (Upper Volga Basin, Tver Region) that is a one of the reference sections located on the Russian Plain. Ideas concerning the age and climatic conditions of these organic--mineral deposits formation changed significantly over the long history of their study. As a result, the viewpoint about the belonging of this layer to the Likhvin time

* The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of scientific projects No 18-35-00571 and 20-05-00813.

began to prevail. However, it is still unclear with which marine isotope-oxygen stage (MIS) the Likhvin interglacial can be compared. According to the paleobotanical study of the lake-bog from the Ilya Prorok section, it was confirmed that the lower part of the lake-bog layer can be attributed to the warm phases of the Likhvin interglacial, while its upper half was deposited during the transition to cooling after the interglacial period. For the first time, the radioisotope age of the buried lake-bog deposits of the reference section "Ilya Prorok" have obtained. According to the data of direct $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating, the formation of the sequence probably began no earlier than ~ 326–260 Kyr ago. The $^{230}\text{Th}/\text{U}$ age of the buried peat bog from its upper half, according to the results of applying the isochronous approximation, can be correlated with the interval ~ 256–225 Kyr ago. According to these data, the Likhvin deposits were formed no earlier than MIS-9.

Keywords: buried lake-bog deposits, Middle Pleistocene, Likhvin interglacial, uranium-thorium ($^{230}\text{Th}/\text{U}$) dating method, palaeobotanical analysis.

References

- Arslanov, Kh. A., Maksimov, F.E., Kuznetsov, V. Yu., Chernov, S. B., Savelieva, L. A., Baranova, N. G. and Razina, V. V. (2006). Absolute chronology and palinology research on Upper and Middle Pleistocene interglacial deposits in the Russian Plain. In: *Pleistocene Environments in Eurasia Chronology, Paleoclimate and Teleconnection*. Hannover: INTAS Final Workshop, 1–6.
- Bassinot, F. C., Labeyrie, L. D., Vincent, E., Quidelleur, X., Shackleton, N. and Lancelot, Y. (1994). The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 126, 91–108.
- Bolikhovskaia, N. S. and Molod'kov, A. N. (2018). Climatic-chronostratigraphic scheme of the Neopleistocene of the East European Plain: periodization, correlation and age of climatic events. In: A. Iu. Gladenkov, ed., *Neogen i kvarter Rossii: stratigrafiia, sobytiia i paleogeografiia*. Moscow: GEOS Publ., 99–110. (In Russian)
- Geyh, M. A. (2001). Reflections on the $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating of dirty material. *Geochronometria*, 20, 9–14.
- Geyh, M. A. (2008). Selection of suitable data sets improves $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dates of dirty material. *Geochronometria*, 30, 69–77. <https://doi.org/10.2478/v10003-008-0001-1>
- Geyh, M. A. and Miller, H. (2005). Numerical $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating and palinological review of the Holsteinian/Hoxnian Interglacial. *Quaternary Science Reviews*, 24, 1861–1872. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.01.007>
- Grichuk, V. P. (1961). Fossil floras as a paleontological basis for the stratigraphy of Quaternary deposits, in Relief and stratigraphy of the Quaternary deposits in the Nord-Western part of the Russian plain. In: K. K. Markov, ed., *Relief i stratigrafiia chetvertichnykh otlozhenii Severo-Zapada Russkoi ravniny*. Moscow: Akademiia nauk SSSR Publ., 25–71. (In Russian)
- Grichuk, V. P. (1978). Methodology for Interpreting Paleobotanical Materials for Solving the Problems of Stratigraphy and Correlation of the Late Cenozoic. In: *Palinologicheskie issledovaniia na severo-vostoke SSSR*. Vladivostok: DVNTs AN SSSR, 5–22. (In Russian)
- Grichuk, V. P. (1989). *The history of flora and vegetation of the Russian Plain in the Pleistocene*. Moscow: Nauka Publ. (In Russian)
- Grichuk, V. P. and Zaklinskaja, E. D. (1948). *Fossil pollen and spore analysis and its application in paleogeography*. Moscow: Geografiz Publ. (In Russian)
- Grimm, E. C. TILIA 2.0 Version b.4 (Computer Software) (1993). Springfield: Illinois State Museum, Research and Collections Center.
- Konstantinov, E. A., Mukhametshina, E. O. and Karpukhina, N. V. (2017). Occurrence conditions and properties of buried organogenic deposits of the Bolshaya Koshi river basin (Tver region). *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 5, 56–61. (In Russian)
- Krasnov, I. I. and Kolesnikova, T. D. (1967). New Data on Interglacial Deposits in the Upper Volga Basin. *Biulleten' komissii po izucheniiu chetvertichnogo perioda*, 31, 140–146. (In Russian)
- Maksimov, F. E. and Kuznetsov, V. Yu. (2010). New version of $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating of the Upper and Middle Pleistocene buried organogenic sediments. *Vestnik SPBGU. Ser. 7*. 4, 94–107. (In Russian)

- Maksimov, F. E., Laukhin, S. A., Arslanov, Kh. A., Kuznetsov, V. Yu. and Shilova, G. N. (2012). First $^{230}\text{Th}/\text{U}$ date of Middle Pleistocene peat bog in Siberia (key section Krivosheino, Western Siberia), *Geochronometria*, 39 (4), 241–251. <https://doi.org/10.2478/s13386-012-0014-4>
- Maksimov, F. E., Savelieva, L. A., Laukhin, S. A., Kuznetsov, V. Yu., Arslanov, Kh. A., Petrov, A. Yu., Grigoriev, V. A. and Levchenko, S. B. (2017). New Data on Age and Conditions of Buried Organic-Rich Sediments Formation in the Central Ob River. *Contemporary Problems of Ecology*, 10 (4), 370–379. <https://doi.org/10.1134/S1995425517040047>
- Moskvitin, A. I. (1950). *Würmian epoch (Neopleistocene) in the European part of the USSR*. Moscow: AN SSSR Publ. (In Russian)
- Pisareva, V. V. (2012). Reconstruction of Paleoenvironments of Likhvin (Holstein) Interglacial and the Subsequent in Eastern Europe. *Izvestiia RAN. Seriya Geograficheskaya*, 3, 54–70. (In Russian)
- Rychagov, G. I., Sudakova, N. G. and Antonov, S. I. (2012). About ice age stratigraphy and paleogeography and paleogeography of the central part of the East-European plain. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*, 5 (1), 36–44. (In Russian)
- Shik, S. M. (2014). A modern approach to the Neopleistocene stratigraphy and paleogeography of Central European Russia. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 22 (2), 219–230.
- Stoliarova, T. I. (1961). *Map of the Quaternary formations. Sheet O-36-XXVIII, scale 1:200,000*. Leningrad: VSEGEI. (In Russian)
- Velichkevich, F. Iu. (1982). *Pleistocene floras of the glacial regions of the East European Plain*. Minsk: Nauka i tekhnika. (In Russian)
- Verbitskii, V. R., Verbitskii, I. V., Vasil'eva, O. V., Savanin, V. V. et al. (2012). *State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Series Central European. Sheets O-35 — Pskov, (N-35), O-36 — St. Petersburg. Explanatory note*. St Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI (In Russian)
- Waas, D., Kleinmann, A. and Lepper, J. (2011). Uranium-series dating of fen peat horizons from pit Nachtigall in northern Germany. *Quaternary International*, 241, 111–124. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.09.010>

Received: March 26, 2020

Accepted: April 18, 2022

Contact information:

Fedor E. Maksimov — maksimov-fedor@yandex.ru
 Alexei Yu. Petrov — petrovalexey1987@gmail.com
 Vasily A. Grigoriev — v.a.grigoriev@spbu.ru
 Evgeniy A. Konstantinov — eakonstantinov@yandex.ru
 Vladislav Yu. Kuznetsov — v_kuzu@mail.ru
 Khikmatulla A. Arslanov — arslanovkh@mail.ru
 Snezhana B. Levchenko — golsneg@mail.ru
 Natalia V. Karpukhina — natalia_karpukhina@mail.ru
 Anna A. Starikova — annstarikova88@gmail.com
 Nadezhda G. Baranova — n.g.baranova@spbu.ru