

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Копытов С.В., Санников П.Ю., Мехоношина Е.А.,

Соловьева Е.Е., Самаркина А.А.

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ, ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 551.8:56.074.6

doi: 10.17072/2079-7877-2024-4-6-14

НАКОПЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕР КАМСКО-КЕЛЬТМИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ (ПЕРМСКОЕ ПРЕДУРАЛЬЕ) В ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЬЕ И ГОЛОЦЕНЕ

Сергей Владимирович Копытов¹, Павел Юрьевич Санников², Елизавета Алексеевна Мехоношина³,
Елизавета Евгеньевна Соловьева⁴, Александра Андреевна Самаркина⁵

^{1,2,3,4,5} Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

¹ kopytov@psu.ru

² sol1430@gmail.com

³ elizamkh@mail.ru

⁴ solovyva_liza@bk.ru

⁵ alya.samarkina.01@mail.ru

Аннотация. В трех колонках донных отложений, отобранных в озерах Новожилово и Чёлвинское, при помощи метода потерь массы при прокаливании было определено содержание органического вещества. Мощность колонок составила от 2,8 до 5,2 м. Нижняя часть вскрытых скважиной NZH-1 отложений формировалась в позднеледниковье, скважины NZH-2 и CHOL-1 охватывают весь голоцен. Впервые для Пермского Прикамья получена подробная датированная летопись изменения биопродуктивности озерных экосистем за последние 14 тыс. лет. В кернах по динамике содержания органического вещества выделены шесть периодов осадконакопления, имеющие близкие характеристики. В колонках отмечены три этапа повышенного накопления органического вещества – в межстадиале бёллинг-аллерёд, в начале и середине голоцена. Данные периоды накопления органического вещества связаны в основном с интенсивностью продукционных процессов в озерах, которые, в свою очередь, являются производной климатических изменений в позднеледниковье и голоцене. Из палеогеографических событий регионального масштаба активные перестройки флювиальных систем, изменение стока и физического выветривания на водосборе озер в позднеледниковье и раннем голоцене проявляются в трансформациях органического осадконакопления. Для выделенных периодов установлены скорости (темпы) аккумуляции отложений с помощью байесовского возрастного моделирования. Проведена корреляция с региональными изменениями растительных сообществ, запечатленных в палиноспектрах опорных разрезов позднеледниковья – голоцена.

Ключевые слова: донные отложения, озерное осадконакопление, органическое вещество в отложениях, потери при прокаливании, озеро Новожилово, озеро Чёлвинское

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-77-00086, <https://rscf.ru/project/22-77-00086/>

Для цитирования: Копытов С.В., Санников П.Ю., Мехоношина Е.А., Соловьева Е.Е., Самаркина А.А. Накопление органического вещества в донных отложениях озер Камско-Кельтминской низменности (Пермское Предуралье) в позднеледниковье и голоцене // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 4 (71). С. 6–14. doi: 10.17072/2079-7877-2024-4-6-14

PHYSICAL GEOGRAPHY, LANDSCAPES AND GEOMORPHOLOGY

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-4-6-14

ORGANIC MATTER ACCUMULATION IN BOTTOM SEDIMENTS OF LAKES OF THE KAMA-KELTMA LOWLAND (PERM CIS-URALS) IN THE LATE GLACIAL AND HOLOCENE

Sergey V. Kopytov¹, Pavel Yu. Sannikov², Elizaveta A. Mekhonoshina³, Elizaveta E. Solovyova⁴, Alexandra A. Samarkina⁵

^{1,2,3,4,5} Perm State University, Perm, Russia

¹ kopytov@psu.ru

² sol1430@gmail.com

³ elizamkh@mail.ru

⁴ solovyva_liza@bk.ru

⁵ alya.samarkina.01@mail.ru

Abstract. In three sediment cores collected from the lakes Novozhilovo and Chelvinskoye, the organic matter content was analyzed by measuring the loss on ignition (LOI). The cores ranged in thickness from 2.8 to 5.2 meters. The lower part of the sediment uncovered by core NZH-1 was deposited during the Late Glacial, while cores NZH-2 and CHOL-1 covered the entire



Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Копытов С.В., Санников П.Ю., Мехоношина Е.А.,

Соловьева Е.Е., Самаркина А.А.

Holocene. It is for the first time that a detailed chronology of changes in lake ecosystem productivity over the past 14 ka has been obtained for the Perm Cis-Urals. Based on the dynamics of the organic matter content in the cores, six periods with similar sedimentation characteristics were identified. Three stages with increased accumulation of organic matter were observed in the cores: during the Bölling–Allerød Interstadial, at the beginning and in the middle of the Holocene. These periods of organic matter accumulation were mainly associated with the intensity of lake production processes which, in turn, were a result of climatic changes during the Late Glacial and Holocene. On a regional scale, paleogeographical events, such as the active restructuring of river systems, changes in runoff, and physical weathering within the lake catchment area, all contribute to changes in organogenic sedimentation rates. For the selected time periods, sediment accumulation rates were determined using Bayesian age modeling, and a correlation was found with regional changes in plant communities recorded in the palynological spectra of reference sections from the Late Glacial to Holocene.

Keywords: bottom sediments, lacustrine sedimentation, organic matter in sediments, loss on ignition, Lake Novozhilovo, Lake Chelvinskoye

Funding. The study was funded by the Russian Science Foundation, project No. 22-77-00086, <https://rscf.ru/project/22-77-00086/>

For citation: Kopytov, S.V., Sannikov, P. Yu., Mekhonoshina, E.A., Solovyova, E.E., Samarkina, A.A. (2024). Organic matter accumulation in bottom sediments of lakes of the Kama-Keltma Lowland (Perm Cis-Urals) in the Late Glacial and Holocene. *Geographical Bulletin*. No. 4(71). Pp. 6–14. doi: 10.17072/2079-7877-2024-4-6-14

Введение

Выявление флуктуаций накопления органического вещества (ОВ) в отложениях озер в позднеледниковье и голоцене позволяет обнаружить относительно кратковременные или слабо выраженные изменения палеогеографических условий. Соотношение содержания терригенного и органогенного веществ в озерных отложениях и его

изменение во времени дают возможность реконструировать периоды максимальной биопродуктивности водных экосистем и периоды ее спада, которые тесно связаны с колебаниями ряда климатических параметров [4; 11]. Существенную роль могут играть и денудационные процессы на водосборном бассейне озера. Например, резкое увеличение содержания минерального вещества в озерных осадках может свидетельствовать об усилении эрозионно-аккумулятивных или эоловых процессов [5; 13].

В этой связи особенно актуальным становится анализ содержания ОВ в донных отложениях озер при решении дискуссионных проблем палеогеографии северо-восточного сектора европейской России (рис. 1 а). Перестройки речных бассейнов, изменение руслового режима рек на Камско-Вычегодском водоразделе (рис. 1 б) во второй половине неоплейстоцена и голоцене не раз становились объектом пристального внимания российских и зарубежных коллективов исследователей [2; 3; 6; 17; 18]. Наличие следов активизации эрозионных процессов в осадочных комплексах пойм и реликтовых каналов стока [9; 16] предопределило поиск новых палеоархивов, способных отразить климатообусловленные отклики высокого разрешения. В южной части водораздела к таким можно отнести озера, которые разбросаны в пределах верховых болот в южном расширении Камско-Кельтминской низменности.

С целью реконструкции наиболее характерных периодов органогенного и минерального осадконакопления мы решаем следующие задачи: расчет темпов (скоростей) аккумуляции донных отложений на основе радиоуглеродного датирования, анализ содержания ОВ в осадке методом потерь при прокаливании (ППП), выявление изменений биопродуктивности озерных экосистем в позднеледниковье и голоцене (рост, снижение, стабилизация).

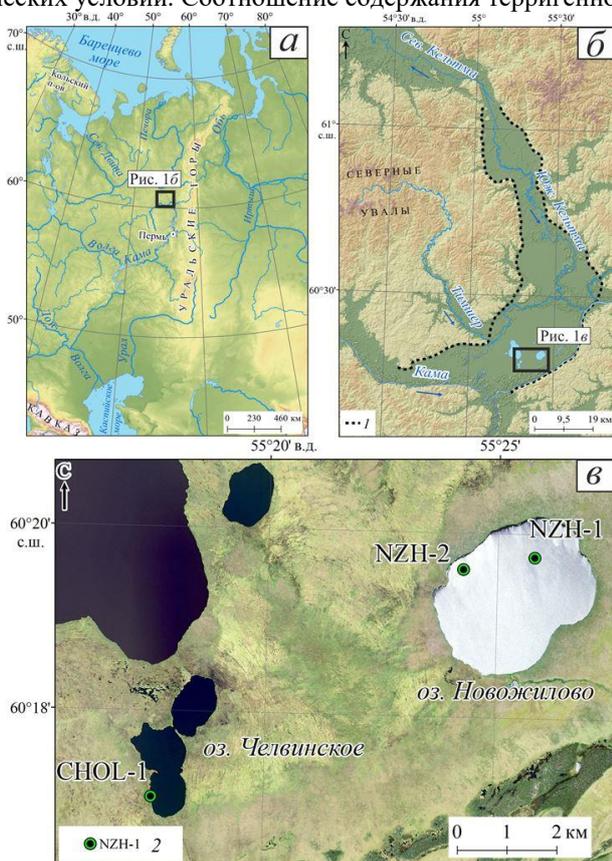


Рис. 1. Местоположение района исследований
а – положение озер Новожилово и Чёлвинское на карте Восточно-Европейской равнины; б – Камско-Вычегодский водораздел; в – местоположение пробуренных скважин.

Условные обозначения:

- 1 – контур Камско-Кельтминской низменности;
2 – скважины

Fig. 1. Location of the study area
а – the position of lakes Novozhilovo and Chelvinskoye on the map of the East European Plain; б – Kama-Vychegodskiy watershed; в – location of the drill cores

- Legend: 1 – contour of the Kama-Keltma Lowland;
2 – core holes

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Копытов С.В., Санников П.Ю., Мехоношина Е.А.,

Соловьева Е.Е., Самаркина А.А.

Материалы и методы

В летний и зимний периоды 2021–2023 гг. на озерах Новожилово и Чёлвинское были измерены глубины эхолотом с лодки и лотом с поверхности льда. Максимальная глубина оз. Новожилово составила 3,7 м, оз. Чёлвинское – 5 м. С помощью поршневого бура Ливингстона в зимнее время получены керны из опорных скважин NZH-1, NZH-2, CHOL-1 (рис. 1 в).

Жидкостно-сцинтилляционным (LSC) и методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS) определен радиоуглеродный возраст 14 образцов органического, минерального сапропеля и торфа по валовому органическому углероду, а также остатков древесины (табл. 1). Датирование методом LSC и пробоподготовка образцов для анализа методом AMS произведены в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН, измерение – в Центре изотопных исследований Университета Джорджии (США). Калибровка радиоуглеродных дат выполнена в программе Calib 8.10 с использованием калибровочной кривой IntCal20 [19].

Модели роста осадка (возрастные модели) построены на основе радиоуглеродных датировок байесовским методом в пакете Bacon среды R 4.3.2 [15]. Помимо модели «глубина–возраст» построены графики темпов (скорости) осадконакопления (см/тыс. лет) в зависимости от глубины и календарного возраста (рис. 2, 3).

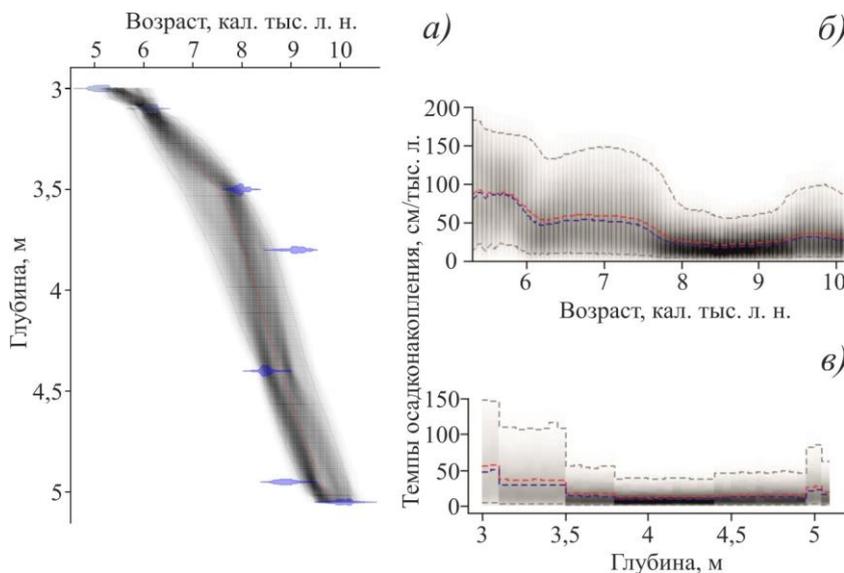


Рис. 3. Глубинно-возрастная модель и скорость накопления отложений, вскрытых скважиной NZH-2. а – график глубинно-возрастной модели; зависимости скорости осадконакопления: б – от календарного возраста, в – от глубины

Fig. 3. Depth-age model and rate of accumulation of NZH-2 core sediments

a – graph of the depth-age model; dependence of the sedimentation rate:

б – on calendar age; в – on depth

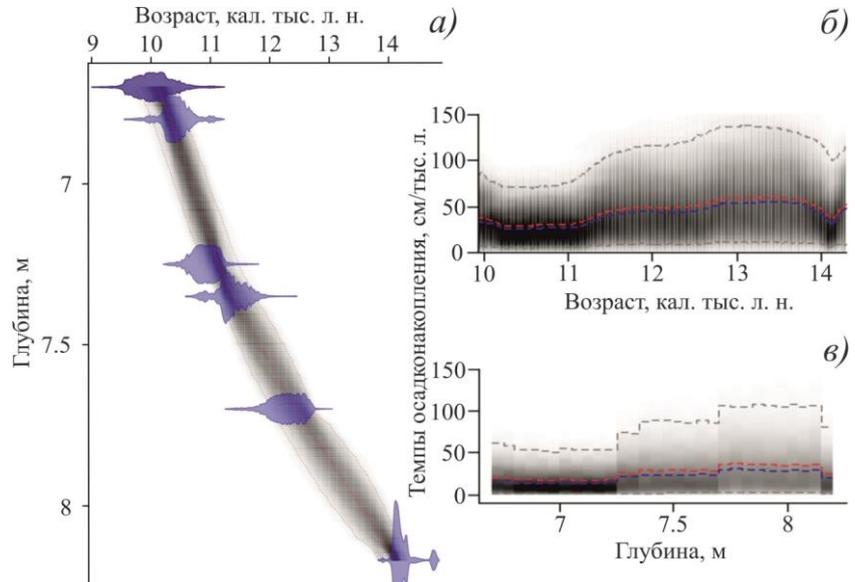


Рис. 2. Глубинно-возрастная модель и скорость накопления отложений, вскрытых скважиной NZH-1.

а – график глубинно-возрастной модели; зависимости скорости осадконакопления: б – от календарного возраста, в – от глубины

Fig. 2. Depth-age model and rate of accumulation of NZH-1 core sediments

a – graph of the depth-age model; dependence of the sedimentation rate:

б – on calendar age; в – on depth

Анализ образцов на ППП выполнен с шагом 5 см в лаборатории факультально-генетических исследований геосистем Пермского университета согласно методике [14]. На первом этапе образцы объемом 5–10 мл, помещенные в фарфоровые тигли, высушивались при температуре 105 °С на протяжении 4 ч. Далее производилось последовательное прокалывание при температуре 550 °С в течение 2 ч. Потери в весе определялись после каждого этапа путем взвешивания на электронных весах. Результирующие значения вычислялись следующим образом: $ППП_{550} = ((DW_{105} - DW_{550}) / DW_{105}) \times 100$, где DW – сухой вес. Согласно [14], ППП 550 позволяют оценить содержание ОВ в осадке.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Копытов С.В., Санников П.Ю., Мехоношина Е.А.,
Соловьева Е.Е., Самаркина А.А.

Таблица 1

Результаты радиоуглеродного датирования
Radiocarbon dating results

№ n/n	Лаб. номер IGAN	Скважина	Глубина, м	Материал	Метод	¹⁴ C дата, л. н.	Калиброванный возраст, л. н.		
							1σ	2σ	медиана
1	10417	NZH-1	6,6–6,7	Сапропель	LSC	8950±190	9730– 10246	9545– 10442	10109
2	10418		6,7–6,8			9220±130	10244– 10513	10151– 10765	10321
3	10419		7,15–7,25			9580±120	11183– 11405	10641– 11206	11129
4	10420		7,25–7,35			9870±110	10746– 11111	11077– 11751	11386
5	10421		7,6–7,7			10440±130	12097– 12409	11928– 12706	12420
6	10517		8,17			Древесина	AMS	12240±40	14075– 14189
7	10422	NZH-2	2,9–3	Сапропель оторфованный	LSC	4480±80	5039– 5147	5154– 5288	5150
8	10423		3–3,1			5360±80	6168– 6214	6006– 6082	6125
9	10424		3,4–3,5	Торф		7150±90	7847– 7904	7915– 8034	7909
10	10425		3,7–3,8			8160±95	9166– 9273	9000– 9153	9159
11	10426		4,3–4,4	Сапропель оторфованный		7680±90	8394– 8544	8323– 8645	8469
12	10427		4,85–4,95	Торф		8030±100	8721– 9023	8597– 9140	8872
13	10428		4,95–5,05	Сапропель оторфованный		8970±110	9909– 10080	9687– 10305	9994
14	10429		CHOL-1	5,9–6		Торф	8100±90	8975– 9140	8693– 9291

Результаты

Литологическое строение отложений. В колонке NZH-1 последовательно (сверху вниз) вскрыты (рис. 4 а): 3–7 м – сапропель коричневый, слабо консолидированный, с растительными остатками на глубине 4,5 м; 7–7,65 м – сапропель плотный, зеленовато-желтоватый, минерализованный; 7,65–8,1 м – сапропель серый (буровато-серый), минеральный, с единичными растительными остатками, по всему слою зерна тонкозернистого песка; к низу минерализация увеличивается, и он становится плотнее; 7,85 м – прослой сильно оторфованный (мощность 3 см); 8,1–8,2 м – песок тонкозернистый с прослоями торфа (до 2–3 см), с фрагментами древесины в торфе.

В текстуре осадков нижней части керна скважины NZH-1 на уровне 7,8–8,2 м прослеживается ритмичная слоистость, проявляющаяся в чередовании плотного минерального буровато-серого и темного оторфованного сапропеля, торфа и светлых опесчаненных слоев. Выше материал постепенно обогащается ОВ, становится все более оторфованным, вязким и однотонным.

В керне скважины NZH-2 (рис. 4 б) последовательно вскрыты: 2,5–3,15 м – сапропель коричневый слабо консолидированный; 3,15–4,34 м – торф светло-коричневый; 4,34–4,8 м – сапропель оторфованный, темно-коричневый; 4,80–4,95 м – торф коричневый, хорошо разлагаемый; 4,95–5,29 см – сапропель буровато-серый с растительными остатками, сильно опесчаненный; 5,29–5,3 м – песок мелкозернистый, серый.

В строении скважины NZH-2, меньшей по мощности извлеченного керна, наблюдается чередование органо-минерального и минерального сапропеля, а также довольно мощных толщ торфа светло-коричневых и коричневых оттенков. Скважина пробурена на северо-западной окраине озера, где средние глубины составляют 2–2,5 м. Чередование толщ сапропеля и торфа в верхней части разреза указывает на проявление ритмичности лимнологических процессов в условиях изменения глубины озера.

При рекогносцировочном зондировании строения донных отложений оз. Чёлвинское выяснилось, что максимальные глубины не соответствуют наибольшей мощности осадка. Опорная скважина CHOL-1 (рис. 1 в) была пробурена в западной части озера в небольшом заливе. Строение извлеченного керна, как и в случае с NZH-2, представляет собой ритмичное чередование толщ сапропеля и торфа. В колонке (рис. 4 в) вскрыты следующие отложения: 2,9–3,6 м – сапропель темно-коричневый слабоконсолидированный; 3,6–4,25 м – сапропель коричневый с растительными остатками; 4,25–6 м – торф коричневый и темно-коричневый, хорошо разлагаемый, плотный; 6–6,09 м – сапропель плотный, оливково-бурый, минеральный; 6,09–6,1 м – песок мелкозернистый, серый.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
 Копытов С.В., Санников П.Ю., Мехоношина Е.А.,
 Соловьева Е.Е., Самаркина А.А.

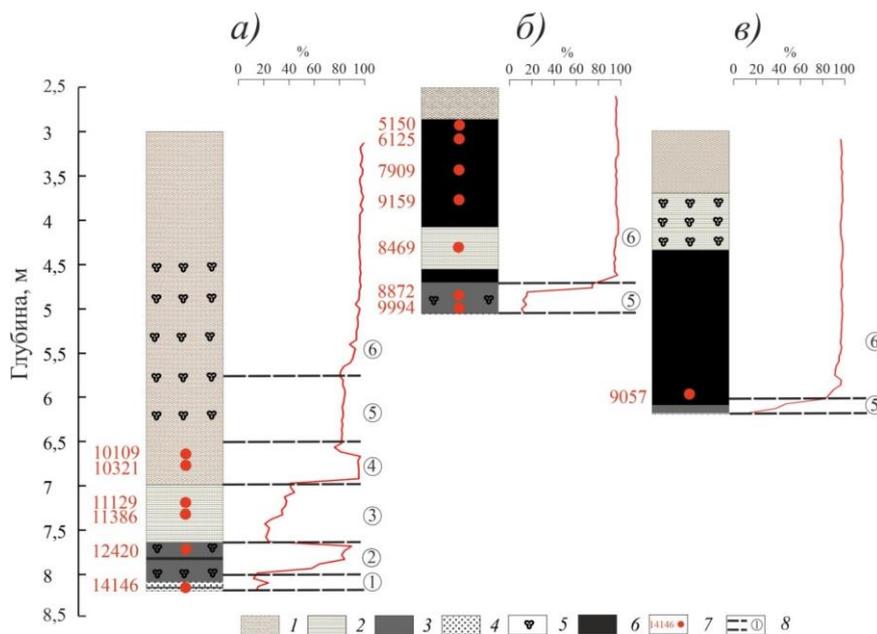


Рис. 4. Литологическое строение изученных кернов и кривые содержания ОВ. а – скважина NZH-1, б – скважина NZH-2, в – скважина CHOL-1. Условные обозначения: 1 – сапропель коричневый слабоконсолидированный; 2 – сапропель плотный, зеленовато-желтоватый; 3 – сапропель серый (буровато-серый), минерализованный; 4 – песок; 5 – растительные остатки; 6 – торф; 7 – калиброванная радиоуглеродная дата; 8 – положение и номера периодов органогенного осадконакопления

Fig. 4. Lithological structure of the studied cores and organic matter content curves

a – core NZH-1, б – core NZH-2, в – core CHOL-1

Legend: 1 – brown, slightly consolidated sapropel; 2 – dense, green-yellow sapropel; 3 – gray (brown-gray), mineralized sapropel; 4 – sand; 5 – plant remains; 6 – peat; 7 – calibrated radiocarbon date; 8 – position and numbers of the organogenic sedimentation periods

Возраст формирования донных отложений. Результаты радиоуглеродного датирования представлены в табл. 1. Нижняя часть керна NZH-1 (глубина 6,6–8,2 м) охватывает переходный период от позднего неоплейстоцена к голоцену. На основании возрастной модели можно утверждать, что самые высокие темпы аккумуляции отложений свойственны глубине 7,7–8,2 м. Скорость 120–130 см/тыс. лет была характерна для периода 14000–12500 кал. л. н. (рис. 2).

Наиболее полно датированный керн NZH-2 охватывает весь голоцен. Начало озерного осадконакопления укладывается в интервал 10305–9687 кал. л. н. Одна датировка оказалась неконвенциональной (инверсия на глубине 3,7–3,8 м) – 8160±95 ¹⁴C лет (IGAN-10425). Темпы осадконакопления на протяжении голоцена были различными. Самые высокие скорости аккумуляции были присущи раннему голоцену (10000–9400 кал. л. н.) – примерно 100–120 см/тыс. лет, а также позднему голоцену (порядка 150–180 см/тыс. лет). Самые низкие скорости накопления относятся к глубинам 3,6–4,3 м – 1 тысяча лет уходила на формирование менее 50 см осадка.

Начало формирования озерных отложений, вскрытых в скважине CHOL-1, определено также началом голоцена – 9291–8693 кал. л. н.

Содержание ОВ. Ход кривой содержания ОВ, основанный на методе измерения ППП, выявил следующие закономерности: максимальное содержание ОВ в колонке NZH-1 (рис. 4 а) наблюдается на глубинах 3,2–5,4, 6,7–6,95, 7,7–7,85 м. Самые высокие значения характерны для верхней части керна, средняя величина составляет 93 %, при максимальном значении 97 % в придонном слое на глубине 3,2 м.

Второй интервал повышения ППП (6,5–7 м) приурочен к переходу от коричневого слабоконсолидированного к плотному бурому сапропелю. Максимальное значение содержания ОВ отмечено на глубине 6,7 м – 94,4 %. На глубине 7–7,7 м определено резкое понижение содержания ОВ – среднее значение составляет 30 %, максимальное – 42,5 % (на глубине 7,1 м). В нижележащем слое (7,7–8 м) ППП увеличиваются в 2,5 раза до среднего значения в 74,8 %, при этом максимальная величина связана с глубиной 7,7 м – 87,4 %.

В керне скважины NZH-2 самые низкие значения ППП относятся к нижней части разреза: в интервале глубин 5–5,25 м минимальная величина содержания ОВ находится на уровне 9,4 %. Выше по керну количество органики увеличивается: после переходной фазы (4,85–4,95 м) значения ППП сохраняются на уровне не менее 93 %. Максимальное значение (98 %) зафиксировано на глубинах 3,2 и 4,15 м. Среднее значение в интервале глубин 2,5–4,6 м составляет 96,1 %.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Копытов С.В., Санников П.Ю., Мехоношина Е.А.,

Соловьева Е.Е., Самаркина А.А.

Содержание ОВ в колонке CHOL-1 в целом схоже с керном скважины NZH-2. В интервале глубин 3,15–5,95 м среднее значение ППП составляет 96,6 %, а максимальное – 98,6 % на глубинах 3,8 и 4,35 м. В нижней части керна, в интервале глубин 5,8–5,9 м, содержание ОВ сокращается до 86 % в среднем. Среднее значение ППП образцов из минерального сапропеля и песка на глубинах 5,95–6,1 м составило 30 %.

Обсуждение результатов

На основании полученных данных (радиоуглеродных дат и изменения биопродуктивности) можно сделать предварительный вывод об этапности органогенного осадконакопления в озерах Камско-Кельтминской низменности. Этапы обозначены цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6, где 1 этап – самый древний (рис. 4, табл. 2). Поздненеоплейстоценовые периоды 1–4 выделены только в колонке NZH-1.

Таблица 2

Значения ППП в выделенных периодах органогенного осадконакопления
LOI values in the selected periods of organogenic sedimentation

Скважина	Средние значения ППП по периодам органогенного осадконакопления, %					
	1	2	3	4	5	6
NZH-1	14	74,8	30	87	80	93
NZH-2	–	–	–	–	10	96,1
CHOL-1	–	–	–	–	30	96,6

Первый период осадконакопления. Этап длился 14150–13500 кал. л. н., что соответствует по времени позднеледниковью – началу межстадиала бёллинг-аллерёд. Средние значения ППП были низкими и составили 14 %, что соответствует органоминеральному осадку и *озерно-аллювиальным условиям*. Граница между периодами 1 и 2 – эрозионная, с резким повышением значений содержания ОВ, что соответствует завершению этапа активного размыва отложений. Темпы аккумуляции на глубине 8–8,2 м слоев песка, торфа, сапропеля мощностью 1–3 см были очень интенсивными (130 см/тыс. лет). Для этапа бёллинг-аллерёд было присуще продвижение на север лесных экосистем до 60 ° с.ш. и распространение разреженных хвойных и мелколиственных лесов в сочетании с тундровыми и степными сообществами [8].

Второй период осадконакопления. Этап характеризуется относительной стабилизацией уровня сформированного водоема и преобладанием органогенного над минеральным осадконакоплением. Согласно возрастной модели, длился этот период 13500–12420 кал. л. н., что соответствует аллерёдскому потеплению. Средние значения ППП на глубине 7,7–8 м составляют 74,8 %. Темпы осадконакопления оставались также высокими (120 см/тыс. лет). В литологическом отношении в это время происходило накопление плотного бурого сапропеля. В изученных палиноспектрах аллерёда отмечается значительное содержание пыльцы *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Poaceae*, *Superaceae*, что свидетельствует о широком распространении перигляциальных ландшафтов [8]. При этом фиксируется довольно высокий процент пыльцы древесных пород (25–70 %), в основном сосны и ели.

Третий период осадконакопления. Этап продолжительностью 12420–10700 кал. л. н. соответствует глубинам 7–7,7 м. В это время наблюдается достаточно существенное сокращение средних значений ППП (до 30 %). Это время соотносится с поздним дриасом, когда в палиноспектрах высоких широт Русской равнины отмечается господство открытых ландшафтов перигляциального типа с преобладанием марево-полянных группировок, наличие остепненных участков с эфедрой [1; 8]. Темпы осадконакопления начинают снижаться и к глубине 7 м составляют порядка 50–60 см/тыс. лет. Конец третьего периода ознаменован полным переходом к биогенному осадконакоплению в озере и замедлению интенсивности аккумуляции.

Четвертый период осадконакопления характеризуется увеличением содержания ОВ почти в 3 раза (в среднем до 87 %). Этап длился 10700–10000 кал. л. н., что соответствует началу голоцена. Этап был достаточно скоротечным – накопление сапропеля протекало на глубинах 6,5–7 м со скоростью около 50 см/тыс. лет. Согласно палинологическим данным [10], в это время происходит замещение перигляциальных растительных сообществ лесной растительностью, что было типично для территории Восточно-Европейской равнины во время перехода от позднего неоплейстоцена к раннему голоцену.

Пятый период осадконакопления. Этап выделяется во всех трех колонках. В это время происходит небольшое снижение показателей ППП – средние значения падают до 80 % в колонке NZH-1, до 10 и 42 % в кернах NZH-2 и CHOL-1 соответственно. Этап продлился 10000–8800 кал. л. н. с накоплением плотных сапропелей со скоростями около 80 см/тыс. лет в скважине NZH-2. Замедление роста накопления ОВ при общем повышении темпов аккумуляции отложений вполне могло быть вызвано кратковременным повышением повторяемости высоких половодий в Каме и увеличением ее твердого стока, что неоднократно происходило в раннем голоцене [16]. В Верхнем Прикамье в это время были широко распространены светлохвойные и мелколиственные леса таежного типа с доминированием в древостое сосны обыкновенной и березы. В береговой зоне и по влажным пойменным лугам произрастали злаки, осоки и разнотравье. Кустарниковые заросли речной долины Камы формировали ивы [16].

Шестой период осадконакопления характеризуется стабильно высокими показателями накопления ОВ. В трех колонках средние значения ППП составляют не менее 93 %. На заключительном этапе развития озеро начало переживать стадию «зрелости» [7] с относительным выравниванием поверхности дна водоема. Длительность этапа оценивается в 8800–5000 кал. л. н., что хронологически соответствует среднему голоцену. С точки зрения

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Копытов С.В., Санников П.Ю., Мехоношина Е.А.,

Соловьева Е.Е., Самаркина А.А.

мощности накопления отложений, это самый длительный этап и в керне составляет не менее 2 м осадка. Средние темпы накопления отложений в скважине NZH-2 в это время насчитывают около 50 см/тыс. лет с некоторым повышением до 150 см/тыс. лет в придонном слое. Начало среднего голоцена в Верхнем Прикамье ассоциируется с появлением и распространением широколиственных пород в составе лесов. В интервале от 7900 до 6800 кал. л. н. увеличивается роль ели в древостое [16].

Результаты достаточно хорошо согласуются с выводами исследователей, изучавших озера похожей по своим ландшафтным признакам Молого-Шекснинской низменности [12], а также отложения Ладожского озера [4; 5]. По признакам изменения содержания ОБ, соотношения минеральной и органической аккумуляции в позднеледниковье были зарегистрированы выраженные условия эрозионной активности в периоды около ~ 14000 и ~ 13000 кал. л. н. Основным фактором, определявшим характер осадконакопления, соотносится с объемом и темпами поступления в озеро литогенного материала в результате физического выветривания пород на водосборе и с увеличением стока [20]. Стабильно высокое содержание ОБ характерно также и для голоцена.

Заключение

В колонках донных отложений, отобранных в озерах Новожилово и Чёлвинское, обнаружено отчетливое сходство в голоценовой динамике накопления органического вещества. В позднеледниковье изменение биопродуктивности было более значительным и кратковременным. Это позволило выделить шесть периодов органического осадконакопления. В колонках отмечены три этапа повышенного накопления ОБ – в межстадиале бёллинг-аллерёд, в начале и середине голоцена. Выделены и эпизоды спада содержания органики – в начале позднеледниковья, позднем дриасе и первой половине голоцена. Наибольшее сходство в содержании ОБ во всех колонках отмечено для завершающей фазы развития озера, когда скорости накопления отложений были стабильно низкими, а водоем переживал стадию «зрелости».

Библиографический список

1. Зеликсон Э.М. К характеристике растительности Европы в Аллерёде // Короткопериодные и резкие ландшафтно-климатические изменения за последние 15000 лет. М.: ИГ РАН, 1994. С. 113–125.
2. Квасов Д.Д. Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Наука, 1975. 280 с.
3. Краснов И.И. Четвертичные отложения и геоморфология Камско-Печорско-Вычегодского водораздела и прилегающих территорий // Материалы по геоморфологии Урала. М.-Л.: Изд-во Мин. геол. СССР, 1948. С. 47–88.
4. Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А. Голоценовое накопление органического вещества в донных отложениях Ладожского озера // Геоморфология. 2021. № 52 (2). С. 63–71. doi: 10.31857/S043542812102005X
5. Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А., Сапелько Т.В., Лудикова А.В. Гидрографическая сеть северной части Карельского перешейка в голоцене по данным о строении отложений малых озер // Геоморфология. 2015. № 1. С. 54–69.
6. Лавров А.С., Потапенко Л.М. Неоплейстоцен северо-востока Русской равнины. М.: Аэрогеология, 2005. 348 с.
7. Лесненко В.К. Псковские озера. Л.: Лениздат, 1988. 112 с.
8. Маркова А.К., Кольфсхотен Т., Симакова А.Н., Пузаченко А.Ю., Белоновская Е.А. Экосистемы Европы в период позднеледникового потепления бёллинг-аллерёд (10,9–12,4 тыс. лет назад) по палинологическим и териологическим данным // Известия РАН. Сер. Геогр. 2006. № 1. С. 15–25.
9. Назаров Н.Н., Копытов С.В., Жуйкова И.А., Чернов А.В. Плейстоценовые каналы стока в южной части Кельтминской ложбины (Камско-Вычегодское междуречье) // Геоморфология. 2020. № 4. С. 74–88. doi: 10.31857/S0435428120040070
10. Величко А.А., Борисова О.К., Гричук В.П. [и др.] Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен – голоцен: атлас-монография / отв. ред. А.А. Величко. М.: ГЕОС, 2009. 119 с.
11. Россолимо Л.Л. Озерное накопление органического вещества и возможности его типизации // Типология озерного накопления органического вещества. М.: Наука, 1976. С. 3–10.
12. Садоков Д.О., Сапелько Т.В., Бобров Н.Ю., Меллес М., Федоров Г.Б. Позднеледниковая и раннеголоценовая история озерного осадконакопления на севере Молого-Шекснинской низменности на примере озера Белого (Северо-Запад России) // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2022. Т. 67, Вып. 2. С. 266–298. doi: 10.21638/spbu07.2022.204
13. Cohen A.S. Paleolimnology: The History and Evolution of Lake Systems. New-York: Oxford University Press, 2003. 525 p.
14. Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // J. Paleolimnol. 2001. No. 25. P. 101–110. doi: 10.1023/A:1008119611481
15. Blaauw M., Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process // Bayesian Anal. 2011. Vol. 6, No. 3. P. 457–474. doi: 10.1214/11-BA618
16. Lapteva E.G., Zaretskaya N.E., Lychagina E.L., Trofimova S.S., Demakov D.A., Kopytov S.V., Chernov A.V. Holocene vegetation dynamics, river valley evolution and human settlement of the upper Kama valley, Ural region, Russia // Vegetation History and Archaeobotany. 2023. Vol. 32. P. 361–385. doi: 10.1007/s00334-023-00913-5
17. Lysa A., Larsen E., Buylaert J.-P., Fredin O., Jensen M., Kuznetsov D. Late Pleistocene stratigraphy and sedimentary environments of the Severnaya Dvina-Vychegda region in northwestern Russia // Boreas. 2014. Vol. 43. P. 759–779. doi: 10.1111/bor.12080
18. Panin A.V., Astakhov V.I., Lotsari E., Komatsu G., Lang J., Winsemann J. Middle and Late Quaternary glacial lake-outburst floods, drainage diversions and reorganization of fluvial systems in northwestern Eurasia // Earth-Science Reviews. 2020. Vol. 201. 103069. doi: 10.1016/j.earscirev.2019.103069
19. Reimer P., Austin W.E.N., Bard E. et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP) // Radiocarbon. 2020. Vol. 62, No. 4. P. 725–757. doi: 10.1017/RDC.2020.41
20. Van der Bilt W.G.M., Bakke J., Vasskog K., D'Andrea W.J., Bradley R.S., Ólafsdóttir S. Reconstruction of glacier variability from lake sediments reveals dynamic Holocene climate in Svalbard // Quaternary Science Reviews. 2015. Vol. 126. P. 201–218. doi: 10.1016/j.quascirev.2015.09.003

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Копытов С.В., Санников П.Ю., Мехоношина Е.А.,

Соловьева Е.Е., Самаркина А.А.

References

1. Zelikson, E.M., (1994). To characterize the vegetation of Europe in Allerød. Short-period and abrupt landscape-climatic changes over the last 15,000 years. Moscow, IG RAS, 1994. P. 113–125.
2. Kvasov, D.D., (1975). Late Quaternary history of large lakes and inland seas of Eastern Europe. Leningrad, Nauka. 280 p.
3. Krasnov I.I., (1948). *Chetvertichnye otlozheniya i geomorfologiya Kamsko-Pechorsko-Vychegodskogo vodorazdela i prilegayushchikh territorii* [Quaternary deposits and geomorphology of the Kama-Pechora-Vychehda watershed and adjacent territories]. Materials on geomorphology of Urals. Moscow, Gosgeolizdat. P. 47–87.
4. Kuznetsov, D.D., Subetto, D.A., (2021). Holocene organic sedimentation in Lake Ladoga. *Geomorfologiya*. 52(2). P. 63–71. <https://doi.org/10.31857/S043542812102005X>.
5. Kuznetsov, D.D., Subetto, D.A., Sapelko, T.V., Ludikova, A.V., (2015). Hydrographic network of northern part of the Karel'ian isthmus in Holocene according to sediments of the small lakes. *Geomorfologiya*. 1. P. 54–69. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2015-1-54-69>.
6. Lavrov, A.S., Potapenko, L.M., (2005). *Neoplejstocen severo-vostoka Russkoj ravniny*. [Neopleistocene of the north-eastern Russian Plain]. Moscow, Ae'rogeologiya. 348 p.
7. Lesnenko, V.K., (1988). *Pskovskie ozera*. [Lakes of Pskov]. Leningrad, Lenizdat. 112 p.
8. Markova, A.K., Kolfshoten, T., Simakova, A.N., Puzachenko, A.Yu., Belonovskaya, E.A., (2006). Ecosystems of Europe during the period of the Late Glacial warming of Bölling-Allerød (10.9–12.4 thousand years ago) according to palynological and theriological data. *Izvestia RAS. Ser. Geograph*. 1. P. 15–25.
9. Nazarov, N.N., Kopytov, S.V., Zhuikova, I.A. and Chernov, A.V., (2020). Pleistocene runoff channels in the southern part of the Keltma hollow (Kama–Vychehda watershed). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 4. pp. 74–88.
10. Paleoclimates and paleolandscapes of the extratropical space of the Northern Hemisphere. Late Pleistocene - Holocene. Atlas-monograph, (2009). A. A. Velichko, O. K. Borisova, V. P. Grichuk and others; ed. A. A. Velichko. Moscow, GEOS. 119 p.
11. Rossolimo, L.L., (1976). Lake accumulation of organic matter and the possibility of its typification. *Typology of lake accumulation of organic matter*. Moscow, Nauka. P. 3–10.
12. Sadokov, D. O., Sapelko, T. V., Bobrov, N. Yu., Melles, M., Fedorov, G. B., (2022). Late Glacial and Early Holocene lacustrine sedimentation history of the northern Mologa-Sheksna Lowland derived from Lake Belye sediments (NW Russia). *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*. 67 (2). 266–298. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2022.204>.
13. Cohen, A.S., (2003). *Paleolimnology: The History and Evolution of Lake Systems*. New-York, Oxford University Press, 525 p.
14. Heiri, O., Lotter, A.F., Lemcke, G., (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *J. Paleolimnol*. 25. P. 101–110. <https://doi.org/10.1023/A:1008119611481>.
15. Blaauw M., Christen J.A., (2011). Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Anal.* 6 (3). P. 457–474. <https://doi.org/10.1214/11-BA618>.
16. Lapteva, E.G., Zaretskaya, N.E., Lychagina, E.L., Trofimova, S.S., Demakov, D.A., Kopytov, S.V., Chernov, A.V., (2023). Holocene vegetation dynamics, river valley evolution and human settlement of the upper Kama valley, Ural region, Russia. *Vegetation History and Archaeobotany*. 32. P. 361–385. <https://doi.org/10.1007/s00334-023-00913-5>.
17. Lysa, A., Larsen, E., Buylaert, J.-P., Fredin, O., Jensen, M., Kuznetsov, D. (2014). Late Pleistocene stratigraphy and sedimentary environments of the Severnaya Dvina-Vychehda region in northwestern Russia. *Boreas*. 43. P. 759–779. <https://doi.org/10.1111/bor.12080>.
18. Panin, A.V., Astakhov, V.I., Lotsari, E., Komatsu, G., Lang, J., Winsemann, J., (2020). Middle and Late Quaternary glacial lake-outburst floods, drainage diversions and reorganization of fluvial systems in northwestern Eurasia. *Earth-Science Reviews*. 201. 103069. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.103069>.
19. Reimer, P., Austin, W.E.N., Bard, E. et al., (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*. 62(4). P. 725–757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>.
20. Van der Bilt, W.G.M., Bakke, J., Vasskog, K., D'Andrea, W.J., Bradley, R.S., Ólafsdóttir, S., (2015). Reconstruction of glacier variability from lake sediments reveals dynamic Holocene climate in Svalbard. *Quaternary Science Reviews*. 126. P. 201–218. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.09.003>.

Статья поступила в редакцию: 02.05.2024, одобрена после рецензирования: 15.05.2024, принята к опубликованию: 15.05.2024.

The article was submitted: 2 May 2024; approved after review: 15 May 2024; accepted for publication: 15 May 2024.

*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология**Копытов С.В., Санников П.Ю., Мехоношина Е.А.,**Соловьева Е.Е., Самаркина А.А.*

Информация об авторах

Information about the authors

Сергей Владимирович Копытов

кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и ландшафтной экологии, доцент кафедры картографии и геоинформатики, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Sergey V. Kopytov

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor in the Department of Physical Geography and Landscape Ecology, Associate Professor in the Department of Cartography and Geoinformatics, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: kopytov@psu.ru

Павел Юрьевич Санников

кандидат географических наук, доцент кафедры биогеоценологии и охраны природы, заведующий лабораторией эколого-геоинформационных систем, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Pavel Yu. Sannikov

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Biogeocenology and Nature Protection, Head of the Laboratory of Ecological and Geoinformation Systems, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: sol1430@gmail.com

Елизавета Алексеевна Мехоношина

студент географического факультета, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Elizaveta A. Mekhonoshina

Student, Faculty of Geography, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: elizamkh@mail.ru

Елизавета Евгеньевна Соловьева

студент географического факультета, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Elizaveta E. Solovyova

Student, Faculty of Geography, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: solovyva_liza@bk.ru

Александра Андреевна Самаркина

студент географического факультета, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Alexandra A. Samarkina

Student, Faculty of Geography, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: alya.samarkina.01@mail.ru

Вклад авторов

Копытов С.В. – идея статьи, организация полевых работ (2021, 2022, 2023), постановка задач исследования, подготовка первого варианта рукописи и рисунков, вычитка финального варианта статьи.

Санников П.Ю. – руководство камеральными работами, вычитка финального варианта статьи.

Мехоношина Е.А. – проведение анализа ППП скважин NZH-1, CHOL-1, вычитка и оформление финального варианта статьи.

Соловьева Е.Е. – проведение анализа ППП скважины NZH-2, вычитка финального варианта статьи.

Самаркина А.А. – проведение анализа ППП скважины NZH-1, вычитка финального варианта статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Sergei V. Kopytov – the idea; arrangement of field works (2021, 2022, 2023); setting the research objectives; first version of the manuscript and figures; proofreading of the last version of the manuscript.

Pavel Yu. Sannikov – laboratory work management; proofreading of the last version of the manuscript.

Elizaveta A. Mekhonoshina – LOI analysis of cores NZH-1 and CHOL-1; design and proofreading of the last version of the manuscript.

Elizaveta E. Solovyova – LOI analysis of core NZH-2; proofreading of the last version of the manuscript.

Alexandra A. Samarkina – LOI analysis of core NZH-1; proofreading of the last version of the manuscript.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.