



УДК 550.461+551.311(476)

*В.П. Зерницкая, Н.А. Махнач, Г.И. Симакова*

## ИЗМЕНЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ОЗЕРАХ – КАРБОНАТО- НАКОПИТЕЛЯХ В СВЯЗИ С АНТРОПОГЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ЛАНДШАФТЫ ВОДОСБОРОВ

В статье представлены результаты литогеохимического, минералогического и палинологического исследования донных залежей из белорусских озер Сергеевское и Неропля. Установлено, что между этапами изменения особенностей озерного осадка и определенными веками антропогенного воздействия на растительность водосборов имела место временная (и, вероятно, причинно-следственная) связь. Замедление осаждения кальцита и ускорение образования вивианита регистрируются на фоне первых палинологических признаков производящего хозяйства на берегах озер (вторая половина суббореала в разрезе Сергеевское и середина субатлантики 1 в разрезе Неропля). В поздней субатлантике активное образование диагенетического вивианита сменилось формированием сульфидов железа. При этом в озере Неропля благодаря подщелачиванию воды в результате сульфатредукции возобновилось осаждение аутигенного кальцита (в парагенезисе с гидротроилитом). Пикам максимального содержания сульфидов соответствуют максимумы пыльцы *Cerealia*, *Secale*, *Triticum*, *Rumex acetosa/acetosella*. Выявленная последовательность этапов накопления и диагенеза осадков имеет аналоги в ряде европейских залежей и представляется одной из типичных для водоемов, подверженных антропогенно-обусловленному эвтрофированию.

### Введение.

На протяжении позднеледниковья–голоцена во многих белорусских озерах неоднократно менялся тип седиментации. Залежам из озер, локализованных среди пород, обогащенных известняковыми и доломитовыми обломками, присуще чередование (снизу вверх) терригенных, карбонатных и органических осадков [1]. «Запрет» карбонатообразования обозначает важную веку в экологическом состоянии озера: вода в нем теряет способность к самоочищению от осаждающихся совместно с кальцитом мелких взвешенных частиц, фосфора, стронция и некоторых тяжелых металлов. В различных озерах осаждение аутигенного кальцита прекращалось в разное время по разным причинам [2]. Одна из них – исчерпание резерва карбонатов в породах водосбора и снижение жесткости поступающей в озеро воды. Однако, по-видимому, главная причина заключалась в эволюционном «старении» озера (переходе от мезотрофной к эвтрофной стадии развития). Известно, что при повышении биопродуктивности озера в нем уменьшается прозрачность воды, ослабевают фотосинтез макрофитов и снижаются темпы удаления растворенного  $\text{CO}_2$ . Поэтому вода становится более кислой, что сдвигает термодинамическое состояние системы «вода–кальцит» в сторону растворения минерала. Такому же эффекту способствует ускоренная минерализация обильного в высокопродуктивном озере органического вещества.

Триггерами эвтрофирования могли быть климатические события (увеличение проточности на влажном этапе или потепление). Вместе с тем есть основания думать, что в некоторых озерах, которым природой было предназначено оставаться активными карбонатонакопителями до настоящего времени, осаждение кальцита прекратилось или сильно замедлилось из-за ускоренного антропогенного эвтрофирования, начавшегося в древности. Так, по сведениям А. Дж. Калиса и др. [3], в осадках, накопившихся в озерах Центральной Европы после ~ 6300 кал. л.н., уже прослеживаются литологические признаки воздействия человека на ландшафты водосборов и лимнические системы.



Все нарастаючае (в том числе антропогенно-обусловленное) повышение трофического статуса может изменить и химические и минералогические характеристики преимущественно органических осадков, перекрывающих известковые. Интенсивное потребление кислорода в биологически продуктивном озере способствуют возникновению или усилению сезонной аноксии в придонной воде и осадке. Это обстоятельство, а также поступление с антропогенизированного водосбора дополнительных порций фосфора, серы, железа повышают вероятность формирования ряда диагенетических минералов.

Антропогенную обусловленность прекращения садки кальцита и изменений органической седиментации и диагенеза можно диагностировать, используя независимые (в частности, палинологические) свидетельства преобразования ландшафтов бассейна человеком и ожидать в тех залежах, где граница «карбонаты – органический сапропель» локализована в верхнеголоценовых осадках. Такие залежи были обнаружены в озерах Сергеевское и Неропля и явились объектами настоящего исследования.

Его главные цели: проследить взаимосвязи между веками антропогенного воздействия на ландшафты водосборов и этапами изменения литогеохимических и минералогических особенностей донных отложений; выявить стадийность изменения осадка в условиях быстрого эвтрофирования; оценить возможности литогеохимической и минералогической индикации антропогенно-обусловленных процессов в озерных экосистемах. Подспорьем для достижения поставленных целей явились результаты наших предшествующих исследований осадочных толщ из озер Сергеевское и Неропля [4, 5], хроностратиграфическое расчленение разрезов, регистрация пыльцы растений-антропохоров в верхних частях залежей.

**Территория исследования.** Озеро Сергеевское (53°30'40" с.ш., 27°45'40" в.д., 166,2 м н.у.м.) находится в Пуховичском районе в 40 км к юго-юго-востоку от Минска в бассейне реки Птичь среди Центрально-Березинской водно-ледниковой равнины, сформировавшейся во время сожской стадии припятского оледенения, имеет плоский водосбор и почти по всему периметру окружено обширными торфяными болотами. Площадь озера 2,75 км<sup>2</sup>, длина 2,2 км, наибольшая ширина 1,6 км, наибольшая глубина 7,5 м. Оно принимает ручей Несвеча длиной 8 км и соединяется четырехкилометровым каналом с рекой Птичь. По данным «Энцыклапедыі прыроды Беларусі» [6], карбонатный сапропель выстилает 83% площади котловины, его запасы оцениваются в 6,1 млн м<sup>3</sup>, и средняя мощность донных отложений составляет 2,7 м. Скважина была пробурена со льда в 400 м от юго-западного берега при глубине воды 1,2 м.

Озеро Неропля (54°01'с.ш., 29°45'в.д., 165 м н.у.м.) площадью 0,26 км<sup>2</sup>, длиной 650 м, шириной до 520 м расположено на севере Центрально-Березинской равнины в 2 км к северо-востоку от г. Белыничи. Площадь водосбора – 52,4 км<sup>2</sup>. Надводные склоны овальной котловины в основном пологие (высота 10 – 12 м), распаханые, участками покрытые кустарником; на северо-западе – крутые (высотой до 22 м), прорезанные оврагами. Берега высотой до 1 м. Согласно устному сообщению Б.В. Курзо, максимальная глубина озера около 6 м, а максимальная мощность отложений в профундали до 11 м. Через озеро протекает река Неропля (левый приток Друти длина 25 км). Река дренирует крупный торфяной массив Ланьково, находящийся в 3–4 км к северо-востоку от озера и известный выраженными проявлениями вивианитовой минерализации [7]. Это обстоятельство позволяет априори ожидать активное развитие процессов эвтрофирования озера из-за притока растворенного фосфора. Четверть водосбора реки Неропля площадью 200 км<sup>2</sup> покрыта лесом. Скважина была пробурена со льда в 200 м от южного берега. Глубина воды в точке бурения составляла 2 м.



**Полевые и аналитические методы.** Керн отложений отбирался озерным буром с диаметром ложки 10 см и длиной 100 см. Интервал непрерывного опробования вертикальной колонки отложений составлял 2–5 см в разрезе Сергеевское и 10 см в разрезе Неропля. Процентное содержание органического вещества (ОВ) в сухой породе определено по потере веса после прокаливания в течение 2 часов при 350°C. Содержания (в весовых процентах) химических макроэлементов в зольном остатке определены А.Б. Комаровым методом рентген-флуоресцентного анализа на установке СРМ-18 и выражены в форме оксидов (концентрации серы представлены как  $S_{\text{общ.}}$ ). В настоящей публикации мы ограничиваемся рассмотрением данных о концентрациях  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $P_2O_5$  и S. Содержание кальцита в зольном остатке устанавливалось с учетом атомных весов кальция, кислорода и углерода путем умножения доли CaO на 1,78. Отложения отдельных глубинных интервалов изучались в шлифах при помощи поляризационного микроскопа.

Использованные в статье хроностратиграфические модели разрезов, основанные на спорово-пыльцевых диаграммах и десяти радиоуглеродных датировках, подробно аргументировались и обсуждались в работах Н.А. Махнача и др. [4; 5].

Даты калиброваны при помощи компьютерной программы OxCal 3.10 [8]. При их интерпретации принималось во внимание то, что возрастные оценки, полученные по органическому веществу карбонатных осадков, могут быть удревнены вследствие эффекта жесткой воды.

Палинологическая информация, предлагаемая ниже, сводится к показу временной динамики нескольких показателей, наиболее интересных для целей исследования. Это содержания пыльцы вяза (*Ulmus*), дуба (*Quercus*), трав, культурных злаков, не распознаваемых до рода (*Cerealia*), ржи (*Secale*), пшеницы (*Triticum*), а также щавеля обыкновенного / щавеля малого (*Rumex acetosa/acetosella*) – индикатора наличия пастбищ.

**Описание и интерпретация результатов.** Изменения содержаний ОВ в сухом осадке, кальцита,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $P_2O_5$ , S в зольном остатке и вариации ряда палинологических показателей в вертикальных разрезах двух изученных залежей показаны на рисунке.

Толща, вскрытая в озере Сергеевское, представлена следующими разностями осадков: светло-серым мелко- и среднезернистым слабокарбонатным песком (530 – 525 см); светло-серым, местами почти белым, озерным мелом и мергелем (525 – 95 см); темно-коричневым карбонатным сапропелем (95 – 25 см); черным органическим слабокарбонатным сапропелем (25 – 0 см) [4].

Большая часть толщи накопилась до начала антропогенного влияния на процесс формирования отложений (рисунок, а). В раннем дриасе терригенный тип осадконакопления сменился карбонатным, а в беллинге кальцитообразование заметно активизировалось.

Для отложений среднего дриаса и начала аллереда характерно повышенное содержание ОВ. Граница средний дриас – аллеред подчеркивается пиками ОВ,  $Fe_2O_3$ ,  $P_2O_5$  и S. На этом уровне в керне зарегистрированы голубоватые включения окисленного вивианита, а в шлифах скопления фрамбоидов пирита. Перечисленные факты свидетельствуют о том, что в молодом, глубоком, только начинавшем заполняться осадками





озере имелись условия для формирования диагенетических минералов – индикаторов сезонной аноксии в придонной воде или в поверхностном слое отложений.

Осадки *позднего дриаса* значительно обогащены обломочной компонентой.

Примечательной особенностью позднеледниковых карбонатных отложений (беллинг – поздний дриас) является относительно высокое содержание в них серы. При этом широкому пику S (на глубине 340 – 480 см) соответствует невысокое содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{P}_2\text{O}_5$  и концентрация ОВ, не большая чем в перекрывающих менее серных нижнеголоценовых осадках. Можно полагать, что такая геохимическая специфика генетически связана с наличием на водосборной территории вечной мерзлоты. В ее деятельном слое был активен глеевый процесс, и в водоем разгружались почвенные, грунтовые, межмерзлотные воды, характеризующиеся пониженными величинами Eh. Поэтому в осадке происходила сульфатредукция и формировалась рассеянная сульфидная минерализация.

В *пребореале* резко сократилась доля обломочной фракции, а содержание карбонатов в зольном остатке достигло значений около 90%, присущих также осадкам бореала и атлантики.

В *бореальной* части разреза отмечаются колебания относительных долей ОВ и карбонатов при низком и почти неизменном содержании обломочной фракции. Пик  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  на глубине 250 – 270 см, синхронный пику ОВ и не сопровождающийся пиками  $\text{P}_2\text{O}_5$  и S, может отражать присутствие аутигенного сидерита в осадках относительно глубоководной фации, накопившихся в течение кратковременного влажного климатического эпизода.

На протяжении *атлантического периода* постепенно увеличивалась доля ОВ (рост трофического статуса) при малой и неизменной концентрации терригенной примеси в минеральной составляющей. В середине атлантической части залежи на фоне сильного узкого пика ОВ наблюдаются пики фосфора и серы, которые могут объясняться вхождением элементов в ОВ, содержания которого аномально высоки на глубине 160–175 см. Также не исключается присутствие незначительной совместной рассеянной вивианитовой и сульфидной минерализации.

Начало трендов особенно резкого увеличения доли ОВ, уменьшения карбонатности, роста содержаний  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  и S отмечено на глубине 110 см в отложениях самого конца атлантического периода. Названное событие можно связывать со значительными естественными изменениями природной обстановки. На этом уровне отмечается явный спад в содержании пыльцы вяза (рисунок, а), а также, как показано в [4], сильный рост содержания пыльцы ели и появление пыльцы бука. Таким образом, существенное изменение в особенностях седиментации обозначилось несколько раньше появления пыльцевых признаков освоения водосбора неолитическим населением.

Резкое падение (от 6,5% до 2,5%) содержания пыльцы дуба (*Quercus*), которое можно гипотетически связывать с предпочтительной вырубкой этой ценной древесной породы, регистрируется на глубине 85 – 70 см. Здесь же были отмечены первые сигнальные зерна Cannabaceae (семейство коноплевых) [4]. Именно в это время начинается резкий рост содержания  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Максимум концентрации фосфора (3,3%  $\text{P}_2\text{O}_5$  в зольном остатке) зафиксирован на глубине 50 – 55 см. Он соответствует пику  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и не сопровождается пиками S и ОВ. В интервале глубин 80 – 50 см содержание ОВ растет от 50% до 70% (в 1,4 раза), а содержание  $\text{P}_2\text{O}_5$  от 0,6% до 3,3% (в 5,5 раза), что доказывает принадлежность значительной части фосфора минеральной (вивианитовой), а не органической фазе.



Формирование вивианитовой минерализации (т.е. способности лимнической системы к долговременному депонированию фосфора) с позиций современных представлений [9] объясняется следующим образом. При смене летних или зимних восстановительных условий в гиполимнионе окислительными (во время осеннего или весеннего перемешивания) совместно с гидроксидами железа (III) на дне накапливается фосфор (входящий в их структуру либо сорбированный на их поверхности). При следующей стагнации, когда Eh в гиполимнионе понижается, железо и фосфор переходят в наддонную воду в результате растворения гидроксидов. Полная циклическая миграция двух элементов из воды в осадок и обратно осуществляется скорее в модельных, чем в природных условиях. В действительности гидроксиды железа, обогащенные фосфором, погребаются под свежееосадившимся материалом, их растворение после установления стратификации (при низких Eh в гиполимнионе) происходит уже в толще осадка, и высвобождение продуктов растворения из порового раствора в озерную воду происходит медленно, путем диффузии, и не успевает реализоваться полностью. В поровых водах концентрации железа и фосфора могут достигать величин, превышающих произведение растворимости вивианита, т.е. обеспечивать его образование. При избытке  $Fe^{2+}$  в растворе в щелочных условиях совместно с вивианитом может образовываться сидерит  $FeCO_3$  либо минеральная фаза  $(Ca_x, Fe_{1-x})CO_3$ .

На фоне максимального пика фосфора наблюдается ряд палинологических событий: некоторое повышение доли пыльцы трав, падение содержания *Ulmus* с 3% до 0,5%, спад *Quercus* с 6,5% до 2,5 – 4%, начало постоянного присутствия *Rumex acetosa/acetosella*, появление *Cerealia*, *Triticum*, *Secale*.

На глубине 30 см начинается тренд резкого увеличения содержания серы. Максимум ее концентрации (2,2%) приходится на глубину 10 см, причем в интервале глубин 30 – 10 см доля ОВ растет с 65 – 70% до 78% (в 1,1 – 1,2 раза), а содержание серы с 0,8% до 2,2% (в 2,8 раза). Это указывает на присутствие не только органической, но и минеральной формы серы.

Увеличение доли серы происходит параллельно с падением содержаний фосфора и железа и ростом относительного количества обломочной компоненты ( $Al_2O_3$ ). Пик S совпадает с максимумами содержаний пыльцы трав, *Cerealia*, *Secale*, *Triticum*. Он связан с развитием аутигенного сульфида (вероятно, моносульфида) железа вместо вивианита из-за падения Eh до величин, при которых возможна сульфатредукция. При этом вивианит и сидерит становятся неустойчивыми, фосфор и частично железо начинают при стагнациях активно выводиться в наддонную воду, обуславливая дальнейшее ускоренное эвтрофирование водоема.

Последовательность событий седиментогенеза и диагенетического изменения осадка, принципиально подобная выявленной в залежи озера Сергеевского, наблюдается и в толще из озера Неропля (рисунок, б).

В скважине, пробуренной в ней, вскрыты следующие разности отложений [5]: зеленовато-серый мелкозернистый песок (980 – 950 см); голубовато-серая глина (950 – 850 см); зеленовато-серый тонко- и мелкозернистый песок (850 – 840 см); зеленовато-светло-серый карбонатный сапропель (840 – 390 см); коричневый органический сапропель с незначительной долей аутигенного кальцита (390 – 220 см); черный глинистый ил (220 – 50 см), обогащенный карбонатами в интервале глубин 170 – 50 см. Верхняя часть залежи (50 – 0 см) представлена полужидким пелогеном, возраст которого исчисляется, вероятно, несколькими последними десятилетиями. На рисунке (б) представле-



на информация по верхней части залежи (840 см), образовавшейся после длительного перерыва осадконакопления.

На протяжении *атлантического периода* и большей части *суббореала* карбонатность зольной части отложений плавно увеличивалась от 65% до 90%. Несмотря на минимальные для разреза и неизменные содержания  $P_2O_5$  в атлантических и нижнесуббореальных отложениях (в интервале глубин 480–840 см) в них имелась примесь вивианита (голубые включения в керне), что свидетельствует о значительном содержании фосфора в водах, поступающих в озеро, и о циклической смене окислительных и восстановительных обстановок у дна. По-видимому, источник растворенного фосфора, питающий вивианитовую минерализацию как современного торфяного массива Ланьково, так и отложений озера Неропля в течение всей его жизни существовал уже в среднем голоцене (возможно, ранее).

Постепенный переход от осадков, содержащих в золе 90% кальцита, к осадкам, содержащим 60% кальцита, наблюдается в пределах слоя суббореала 2+3 (глубина 480 – 390 см). Параллельно увеличиваются концентрации остальных анализируемых компонентов химического состава. Тренд  $Al_2O_3$  отражает рост относительного содержания песка и глины в золе, а рост концентраций  $Fe_2O_3$ ,  $P_2O_5$  и S сопутствует увеличению доли ОВ. Весьма высокое содержание фосфора (до 5%  $P_2O_5$ ) вверху описываемого интервала свидетельствует о начале активного накопления вивианита.

В качестве причины, обусловившей описанные явления, можно предполагать изменение климатических условий. В полной пыльцевой диаграмме из [5] на глубине 520 – 530 см отмечен резкий подъем кривых *Picea* (ели) и *Alnus* (ольхи). Как видно из рисунка (позиция б), начало замедления карбонатообразования в суббореале 2+3 совпадает также с заметным уменьшением роли вяза (*Ulmus*) и дуба (*Quercus*) в составе растительности, что может объясняться как климатическими причинами, так и (с меньшей вероятностью) антропогенным воздействием.

Резкое снижение содержания кальцита (с 60% до 30%), повышение доли ОВ (с 30% до 65%),  $Fe_2O_3$  (с 12% до 35%) произошло параллельно с незначительным (от 2% до 6%), возможно, антропогенно-обусловленным ростом содержания пыльцы трав (на глубине 390 – 370 см).

Следующее изменение в особенностях осадков фиксируется в интервале глубин 330–280 см, на котором доля кальцита снизилась с 30 – 42% до 15% и в пределах которого отмечаются максимальные концентрации фосфора (до 8,6%  $P_2O_5$ ) и, следовательно, вивианита. Конец описанного скачка в изменении минерального состава отложений синхронен с резким подъемом кривой трав, появлением первых зерен *Cerealia*, пшеницы (*Triticum*) и началом рациональных кривых *Rumex acetosa/acetosella* и ржи (*Secale*). Названные бесспорные признаки земледелия датируются возрастом примерно 2 350–2 370 кал. л.н.

На глубине 190 см, где содержание пыльцы трав возрастает до 20%, концентрация  $Fe_2O_3$  достигает максимума (более 50%) при концентрации  $P_2O_5$  до 7%.

На глубине 160–150 см прослеживается еще одно изменение особенностей осадка: резко понижается содержание  $Fe_2O_3$  и  $P_2O_5$  и возрастает содержание ОВ, S (до 1,5%) и кальцита. Это событие произошло на границе субатлантики 2 и 3 несколько ранее 1 000 л.н. почти одновременно с началом непрерывного культивирования пшеницы (*Triticum*), заметным очередным сокращением роли дуба (*Quercus*) и максимальным распространением трав в составе растительности. По-видимому, в это время в результате антропогенного воздействия на ландшафты водосбора скорость аккумуляции



озерных осадков резко возросла, причем в них более значительную роль стали играть ОВ и глина. Это обусловило понижение величины Eh порового раствора до такой степени, при которой вивианит стал нестабильным, получила развитие сульфатредукция, и начал образовываться гидротроилит. Именно минеральная природа серной аномалии диагностируется на основании нескольких косвенных указаний: в интервале глубин 190 – 120 см содержание ОВ возрастает с 58% до 82% (в 1,4 раза), а серы – с 0,6% до 1,5% (в 2,5 раза); свежий осадок имеет абсолютно черный цвет, а в сухом виде представляет собой скопление мелких, выдержанных по размеру (0,3–1,0 мк) «икринок», различных при помощи сканирующего электронного микроскопа [5].

В парагенетической ассоциации с сульфидами железа в результате подщелачивания порового раствора при сульфатредукции образовывался диагенетический кальцит.

Описанные изменения в процессе минералообразования вызвали «внутреннее» загрязнение водной массы железом и фосфором, которые стали слабее удерживаться в осадке, выводиться из него в воду при летних и/или зимних стагнациях и провоцировали дальнейшее эвтрофирование озера.

Последовательность изменения особенностей накопления и диагенеза осадков, установленная в разрезах Сергеевское и Неропля, по-видимому, является типичной для озер, подверженных антропогенному эвтрофированию, поскольку имеет аналоги в ряде европейских залежей. Так, в лесном озере Гостенж (52°35' с.ш., 19°21' в.д., долина Вислы, Польша) в ответ на вырубку лиственных лесов на водосборе (1770–1860-е годы) резко упала скорость кальцитообразования. В начале 1870-х годов по мере нарастающего сельскохозяйственного освоения окрестностей в осадках стал регулярно аккумуляроваться вивианит, а через 10–15 лет на фоне максимальной скорости осаждения ОВ появились сульфиды железа [10]. В осадках шведского, ныне гиперэвтрофного, озера Бусьесьен [11] вивианит был основным диагенетическим минералом на доиндустриальном этапе, а с начала века в них стали активно формироваться сульфиды железа и в ответ на повышение щелочности – кальцит. При этом вследствие усилившейся придонной аноксии фосфор начал высвобождаться из осадка в воду. В швейцарском озере Бальдегерзее, расположенном близ Люцерна, в высококарбонатных отложениях олиготрофной стадии (до 1885 г.) железо содержалось в основном в минерале  $(Ca_x, Fe_{1-x})CO_3$ , а в осадках гиперэвтрофной фазы – в форме сульфидов [12].

### **Выводы**

1. Озера Сергеевское и Неропля незадолго до начала зарегистрированного по палинологическим признакам освоения их водосборов человеком находились на стадии постепенного естественного эвтрофирования, вызывавшего замедление темпов карбонатообразования, ускорение органической седиментации и активизацию формирования диагенетического вивианита. Это предопределило ранимость озерных экологических систем по отношению к наступившему вскоре антропогенному нарушению окрестных ландшафтов и быстрое прохождение стадий дальнейшего изменения процессов накопления и диагенеза отложений.

2. Между этапами изменения особенностей озерного осадка и определенными веками антропогенного воздействия на растительность и ландшафт водосборов, распознанными в пыльцевых спектрах, имела место временная (и, вероятно, причинно-следственная) связь. Резкие сдвиги карбонатности отложений в сторону ее уменьшения и ускорение образования вивианита регистрируются на фоне первых признаков расчистки лесов и производящего хозяйства на берегах озер (вторая половина суббореала





в разрезе Сергеевское и середина субатлантики 1 в разрезе Неропля). В отложениях примерно тысячелетнего (позднесубатлантического) возраста синхронно с пиками максимальных содержаний пыльцы трав, щавеля, злаков группы Cerealia, пшеницы, ржи и палинологическими признаками вырубки деревьев ценных пород (вяза и дуба) отмечаются пики сульфидов железа и снижение содержания вивианита. Все более выраженный кислородный дефицит, формирующийся в придонной воде и/или осадке при стагнациях, обусловил развитие сульфатредукции и образование гидротроилита (возможно, пирита). При этом сидерит и вивианит стали в осадке неустойчивыми, что вызвало «внутреннее» загрязнение воды железом и фосфором. В озере Неропля подщелачивание поровых растворов в результате сульфатредукции привело к возобновлению формирования аутигенного кальцита.

3. Последовательность этапов накопления и диагенеза осадков, выявленная в донных отложениях двух белорусских озер, имеет аналоги в ряде европейских залежей и представляется одной из типичных для водоемов, подверженных антропогенному воздействию и вызванному им прогрессирующему эвтрофированию.

4. Исследование динамики содержания аутигенных минералов (кальцита, вивианита, сульфидов железа) в вертикальном разрезе озерных осадков дает ключ к реконструкции изменений трофического статуса, придонного кислородного режима, интенсивности погребения в осадке и эмиграции из осадка в воду химических элементов-эвтрофикаторов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуховицкая, А.Л. Геохимия озер Белоруссии / А.Л. Жуховицкая, В.А. Генералова. – Минск : Наука і тэхніка, 1991. – 203 с.
2. Якушко, О.Ф. Белорусское Поозерье. История развития и современное состояние озер Северной Белоруссии / О.Ф. Якушко. – Минск : Вышэйшая школа, 1971. – 336 с.
3. Kalis, A.J. Environmental changes during the Holocene climatic optimum in central Europe – human impact and natural causes / A.J. Kalis, J. Merkt, J. Wunderlich // Quaternary Science Reviews. – 2003. – № 22. – P. 33–79.
4. Махнач, Н.А. Стабильные изотопы углерода и кислорода и спорово-пыльцевые спектры в позднеледниково-голоценовых карбонатных осадках озера Сергеевского, Беларусь / Н.А. Махнач, В.П. Зерницкая, И.Л. Колосов // Літасфера. – 2009. – Т. 30. – № 1. – С. 103–114.
5. Махнач, Н.А. Изменения особенностей накопления и диагенеза донных осадков в озере Неропля / Н.А. Махнач [и др.] // Природные ресурсы. – 2009. – № 2. – С. 77–88.
6. Энциклапедыя прыроды Беларусі : у 5 т. – Минск : Беларус. Сав. Энцикл. – Т. 5. – 1986. – 583 с.
7. Ковалев, В.А. Болотные минералого-геохимические системы / В.А. Ковалев. – Минск : Наука и техника, 1985. – 327 с.
8. Bronk Ramsey, C. Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: The OxCal program / C. Bronk Ramsey // Radiocarbon. – 1995. – V. 37. – P. 425–430.
9. Gächter, R. Why the phosphorus retention of lakes does not necessarily depend on the oxygen supply to their sediment surface / R. Gächter, B. Müller // Limnol. Oceanogr. – 2003. – V. 48. № 2. – P. 929–933.



10. Goslar, T. Anthropogenic changes in the sediment composition of Lake Gościąż (central Poland), during the last 330 yrs / T. Goslar [et al.] // Journal of Paleolimnology. – 1999. – V. 22. – P. 171–185.
11. Olsson, S. Sediment-chemistry response to land-use change and pollutant loading in a hypertrophic lake, southern Sweden / S. Olsson [et al.] // Journal of Paleolimnology. – 1997. – V. 17. – № 3. – P. 275–294.
12. Spadini, L. Analysis of the Major Fe Bearing Mineral Phases in Recent Lake Sediments by EXAFS Spectroscopy / L. Spadini [et al.] // Aquatic Geochemistry. – 2003. № 9. – P. 1–17.

***V.P. Zernitskaya, N.A. Makhnach, G.I. Simakova. Changes of Peculiarities of Bottom Deposits Forming in the Carbonate-Accumulating Lakes in Connection with Anthropogenic Impact on the Landscapes of the Drainage Basins***

The results of lithochemical, mineralogical and palynological studies of bottom deposits from Belarusian lakes Sergeevskoe and Neroplia are presented in the paper. It is stated that certain stages of sediments feature changes were temporally (and, probably, causally) connected with the milestones of anthropogenic impact on vegetation in the drainage areas. Decrease of calcite precipitation rates and acceleration of vivianite forming are registered against the background of the early palynological evidence of productive economy in the lake vicinities (the second half of the Subboreal in the profile Sergeevskoe and the middle of the Subatlantic 1 in the profile Neroplia). In the Late Subatlantic, diagenetic vivianite gave way to iron sulfides. At this time authigenic calcite accumulation renewed (in paragenesis with hydrotroilite) in the lake Neroplia due to increasing water alkalinity, which was a result of sulfate reduction. Peaks of the maximum contents of sulfides are consistent with the maxima of *Cerealia*, *Secale*, *Triticum*, *Rumex acetosa/acetosella* pollen. The described succession of sedimentation and diagenesis stages has analogies in a number of European deposits and seems to be typical for lakes exposed to anthropogenic eutrophication.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 07.10.10