

ОСАДКИ ОЗЕР КАК ИНДИКАТОРЫ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Б. В. Курзо¹⁾, О. М. Гайдукевич¹⁾, А. И. Сорокин¹⁾

¹⁾ Государственное научное учреждение «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси», ул. Ф. Скорины, 10, 220076, Минск, Беларусь, kurs2014@tut.by

Рассмотрены особенности накопления и состав сапропелевых отложений в озерах и под торфом. Исследованы особенности концентрирования некоторых загрязняющих компонентов в современных слоях озерных отложений, для которых разработаны оценочные шкалы степени загрязнения и эвтрофирования озерных экосистем. Предложенные критерии основаны на анализе накопления в современных слоях озерных осадков тяжелых металлов, фосфора и руководящих биологических остатков по сравнению с фоновым слоем. Приведена степень загрязнения некоторых репрезентативных озер, которая устанавливалась по биогеохимическим параметрам донных осадков. Изложенный подход может служить дополнением к локальному мониторингу состояния озерных экосистем в районах интенсивной хозяйственной деятельности.

Ключевые слова: сапропель; фоновый горизонт; микроэлементы; радионуклиды; состав органического вещества; степень загрязнения.

LAKES SEDIMENTS AS INDICATORS OF STATE OF ENVIRONMENT

B. V. Kurzo¹⁾, O. M. Gaidukevich¹⁾, A. I. Sorokin¹⁾

¹⁾ State Scientific Institution «Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus», F. Skoriny St., 10, 220076, Minsk, Belarus, kurs2014@tut.by

The features of accumulation and composition of sapropel deposits in lakes and under peat are considered. The features of concentration of some polluting components in modern layers of lake sediments are investigated, for which assessment scales of the degree of pollution and eutrophication of lake ecosystems are developed. The proposed criteria are based on the analysis of accumulation of heavy metals, phosphorus and key biological residues in modern layers of lake sediments compared to the background layer. The degree of pollution of some representative lakes, which was established by biogeochemical parameters of bottom sediments, is given. The described approach can serve as a supplement to local monitoring of the state of lake ecosystems in areas of intensive economic activity.

Keywords: sapropel; background horizon; microelements; radionuclides; gross composition; organic matter composition; degree of pollution.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-143-147>

При выполнении комплексных работ по оценке ресурсов и определении направлений использования сапропеля, которые выполнялась Академией наук Беларуси в 1975–95 гг. изучались валовые содержания и формы нахождения химических элементов в озерных отложениях для оценки возможности их практического использования в различных отраслях хозяйства [1–4]. Исследования актуальны в настоящее время в связи с работами по широкому вовлечению ресурсов сапропеля в сферу сельскохозяйственного и бальнеологического использования в качестве удобрений, кормовых добавок, лечебных грязей и другой продукции. Актуальны также исследования по радиометрическому контролю донных отложений в загрязненных районах Беларуси и разработка критериев антропогенной нагрузки на озера по накоплению в сапропеле отдельных химических элементов и остатков биоты.

Результаты исследований по геохимии сапропелевых отложений и изучение распределения содержания органического вещества, основных макро- и микроэлементов, биоло-

гических компонентов и радионуклидов в современных слоях осадков разнотипных озер продемонстрировало, что мощность поверхностного слоя, где прослеживаются заметные антропогенные нарушения состава отложений в замкнутых дистрофных, мезотрофных и слабоэвтрофных озерах, не превышает 0,15–0,20 м. В проточных эвтрофных озерах по причине повышенной биопродуктивности граница раздела проходит на глубине 0,3–0,4 м от поверхности осадков. Ниже указанных границ располагается экологически чистый (фоновый) горизонт современных осадков, который служит эталоном для оценки антропогенного воздействия на озерные системы.

На большом фактическом материале впервые для сапропеля Беларуси установлены средние концентрации микроэлементов в разновозрастных слоях, характеризующие его как относительно чистое природное образование (табл. 1) [5].

Таблица 1

**Средние концентрации микроэлементов в сапропеле озер Беларуси,
мг/кг сухого вещества**

Педогеохимическая провинция	Количество		Ti	Mn	V	Cu	Cr	Ni	Co	Zr
	озер	проб								
Северная	426	1092	1363	493	33	18	29	17	7	126
Центральная	124	240	349	275	17	9	15	7	5	56
в т.ч. Западная подпровинция	81	170	352	323	19	8	16	7	5	64
Восточная подпровинция	43	70	299	100	16	10	13	7	5	56
Южная	53	100	300	294	15	9	14	6	6	46
Вся территория	603	1432	1073	433	29	15	26	13	7	109

Средние концентрации элементов в глубинных (фоновых) слоях являются достоверными критериями для сравнения и фиксации техногенного загрязнения современных осадков. В результате исследований поверхностных слоев сапропеля предложен метод контроля состояния озер по донным отложениям, позволяющий оценить и наглядно представить особенности процессов эвтрофирования и загрязнения тяжелыми металлами, другими поллютантами экосистем водоемов [6].

Седиментологический подход позволил проследить распределение загрязняющих и эвтрофирующих элементов в экосистемах репрезентативных озер во времени и пространстве. Наиболее приемлемы следующие показатели донных осадков для оценки антропогенного влияния на озерные водоемы: количество общего фосфора и содержание индикаторных биологических остатков эвтрофной стадии, определяемые в результате биологического анализа сапропеля [7] – критерии степени эвтрофирования лимнических систем.

Концентрация тяжелых металлов в залежах сапропеля является критерием техногенного загрязнения. Степень загрязнения (C_d) оценивалась по методу Л. Хакансона (Hakanson Index) [8] путем суммирования всех значений коэффициентов концентрации для данного озера. При расчете C_d важно суммировать значения коэффициентов определенного набора микроэлементов. В этот набор входят следующие тяжелые металлы: Ni, Cu, Co, Zn, Pb, Cd, Cr, V. Степень загрязнения озер техногенными веществами устанавливалась по шкале, разработанной для условий Беларуси: $C_d \leq 6$ – загрязнения отсутствуют, так как все 6 элементов имеют коэффициенты концентрации ~ 1); $6 < C_d \leq 9$ – низкая степень загрязнения; $9 < C_d \leq 12$ – умеренная; $12 < C_d \leq 15$ – повышенная; $15 < C_d \leq 18$ – высокая; $C_d > 18$ – очень высокая.

Рассчитанные согласно методологии [8] коэффициенты загрязнения поверхностных осадков позволили ранжировать озера по степени загрязнения (табл. 2).

Таблица 2

**Коэффициенты концентрации микроэлементов (C_f)
и степень загрязнения (C_d) поверхностных слоев осадков озер**

Озеро	Район	C_f								C_d	Степень загрязнения
		Ni	Cu	Co	Zn	Cd	Pb	Cr	V		
Слобода	Ушачский	1,0	1,1	0,9	0,8	—	2,2	0,9	1,5	6,9	низкая
Долгое	Глубокский	1,0	0,8	1,3	—	—	1,0	1,3	1,3	6,7	низкая
Святское	Ветковский	1,0	1,5	1,0	—	—	2,0	1,1	0,9	7,5	низкая
Нарочь	Мядельский	0,8	1,2	1,1	2,9	2,3	1,6	1,4	—	9,9	умеренная
Мено	Ушачский	1,5	4,0	1,9	2,3	—	1,3	1,4	1,5	12,4	повышенная

Примечание. При расчете C_d учитывались шесть первых элементов

Низкой степенью загрязнения отличаются отложения озер Долгое, Святское и Слобода, умеренной – экосистема озера Нарочь, где в осадках зафиксированы высокие коэффициенты концентрации цинка (2,9), кадмия (2,3) и свинца (1,6), что логично связать с активными боевыми действиями в Первую мировую войну [9]. Повышенная степень загрязнения экосистемы характерна для проточного гипертрофного озера Мено, испытывающего воздействие стоков с пахотных угодий и животноводческого комплекса.

Средний химический состав различных типов сапропеля, выделенных согласно промышленно-генетической классификации представлен в табл. 3. Типы осадконакопления на сапропелевых месторождениях учитываются при выборе участков разработки сырья для определенного направления использования.

Таблица 3

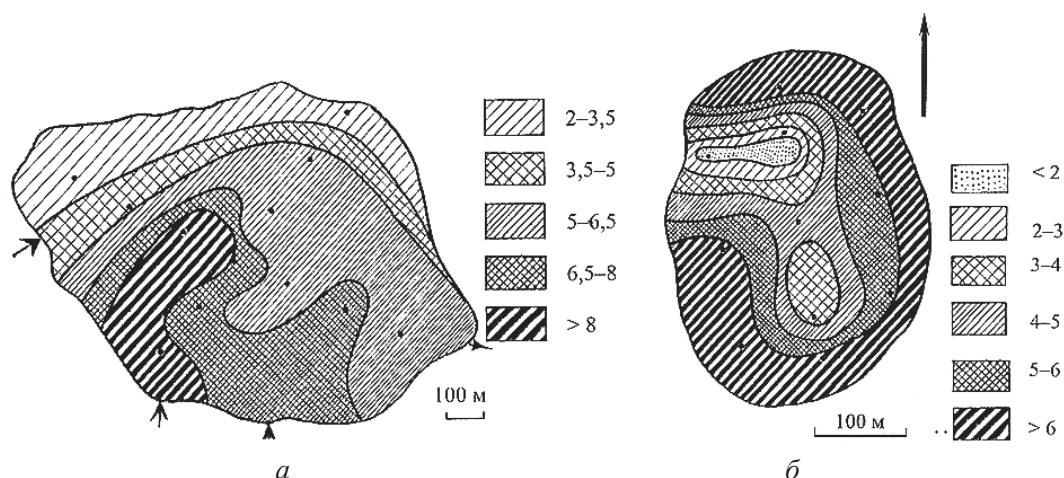
Средний валовый состав разнотипного сапропеля озер Беларуси, % на сухое вещество

Тип сапропеля	ОВ	ОПП	МВ	CO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	P ₂ O ₅	N _{общ.}	pH (KCl)
Органический	80,2	18,6	19,8	1,2	10,3	1,8	0,4	2,6	1,9	1,2	0,29	3,1	6,1
Кремнеземистый	42,4	55,2	57,6	2,4	36,2	5,7	1,4	4,0	4,6	1,1	0,48	1,95	6,5
Смешанный	36,8	51,4	63,2	11,8	21,0	2,6	0,7	16,6	5,8	1,6	0,69	1,8	7,3
Карбонатный	30,9	46,0	69,1	23,1	7,2	1,2	0,26	30,6	3,3	1,9	0,43	1,6	7,7

Проблема техногенного загрязнения отложений озер тяжелыми металлами в настоящее время имеет преимущественно локальный характер. После аварии на ЧАЭС в южном регионе Белоруссии сформировались районы с повышенным фоном радиации и происходило вторичное перераспределение нуклидов, обусловленное влиянием ландшафтных условий, наличием геохимических барьеров, формами миграции элементов. Основными аккумуляторами радионуклидов являются донные отложения водоемов Чернобыльской зоны.

Изучение радионуклидов в поверхностном слое сапропеля показало зависимость процессов их накопления от характера водосбора, морфометрии котловины, различий химических свойств радиоактивных изотопов цезия, стронция, рутения, калия и др. Установлено, что аккумуляция техногенных радиоактивных изотопов происходит в самых верхних слоях сапропеля [10]. Граница их вертикальной миграции определяется по соотношению концентраций и относительной доли Cs-137 и K-40 и зависит от формы озерной котловины, состава осадков,

уровня радиоактивного загрязнения водосбора, форм нахождения радионуклидов. В глубоководных изолированных озерах техногенное радиоактивное загрязнение осадков отмечено до глубины 0,10–0,15 м, в мелководных перемешивающихся проточных водоемах граница загрязнения может опускаться до 0,3–0,4 м вглубь разрезов, что является дополнительным критерием для фиксации экологически чистого (фоновое) горизонта сапропеля. При равномерном радиоактивном загрязнении водосборов максимальные концентрации радиоизотопов наблюдаются в сапропеле проточных озер, примыкая к источникам сноса терригенного материала (рис. а). В изолированных озерах повышенные концентрации отмечены в сапропеле прибрежных участков (рис. б).



Удельная γ -активность верхнего (0–0,03 м) слоя сапропеля озер Ревучее
(а) Добрушского и Святское (б) Ветковского районов, кБк/кг породы естественной влажности

Исследования состава органического вещества (ОВ) по вертикальному разрезу залежей с малозольным сапропелем позволили констатировать, что повышенные количества гуминовых кислот (ГК) содержатся в приповерхностном слое. На глубине осадков с увеличением их возраста общее количество ГК и доля химически «зрелой» фракции I в них уменьшаются, что свидетельствует о разрушении алифатических частей молекул. Следует отметить также незначительное влияние немногочисленных болот на формирование органического вещества сапропеля на начальных этапах развития озер.

В осадках проточных озер содержится повышенное содержание фракции I в ГК, что свидетельствует о важности влияния реакций окисления при гумификации органического вещества сапропеля, которые способствуют обогащению современных озерных осадков многими микроэлементами, по сравнению с придонными слоями. В целом гуминовые кислоты сапропеля являются соединениями с развитой периферической частью молекул и малым вкладом ароматических структур, образовавшихся преимущественно в восстановительной среде. Средний групповой состав органического вещества сапропеля представлен в табл. 4.

Таблица 4

Среднее значение и стандартное отклонение состава органического вещества сапропеля Беларуси

Сапропель	Кол-во проб	ОВ, % СВ	Битумы	ГВ	в т.ч. ГК	ЛГ	ТГ	НГО
			% на органическое вещество					
Органический	172	80,2	3,9±1,5	39,4±10,6	23,6±9,9	21,8±8,2	9,2±4,6	27±6,5
Минерализованный	102	39,7	2,25±1,3	49,2±12,3	28,3±9,5	21,1±6,6	8,4±4,6	21,2±8,6

Установлено, что почти каждое третье торфяное месторождение в республике образовалось на месте бывшего озера. Сапропель сосредоточен в более 1250 болотах из 4400 обследованных, а общая цифра предварительно оцененных его запасов под торфом составляет 1127 млн м³ или 650 млн т 60 %-ной условной влажности. Еще около 130 тыс. м³ подсчитано прогнозно на неизученных объектах.

Торфоподстилающие сапропелевые отложения, сформировавшиеся в основном в раннем голоцене, в силу большего содержания органического вещества макрофитного генезиса и наличия карбонатного материала, характеризуются более сбалансированным составом, чем озерные, среди которых ведущее место занимает кремнеземистый сапропель. Под торфом ресурсы сапропеля кремнеземистого, органического и карбонатного типа сопоставимы по объемам накопления.

Отложения сапропеля под торфом позволяют установить размещение древних озер и озерность территории в начале голоценового периода. На примере торфяных месторождений западных областей, отличающихся высокой изученностью, показано, что в центральных районах, ввиду незначительной современной озерности и широкого развития в прошлом водоемов, плотность запасов торфоподстилающего сапропеля в расчете на единицу территории в 2–4 раза выше, чем отложений в современных озерах, что необходимо учитывать при выборе перспективных месторождений для разработки.

Анализ средних содержаний микроэлементов в торфоподстилающем сапропеле позволяет заключить, что данная порода обеднена многими из них по сравнению с сапропелем современных озер: титаном и хромом – более чем в 2 раза, ванадием, цирконием, медью, никелем, кобальтом – в 1,5, марганцем – в 1,3 раза. Причинами рассеяния микроэлементов в осадках озер, перекрытых впоследствии торфом, являются наличие геохимических барьеров в виде протяженных заторфованных территорий на приозерных площадях, низкая геохимическая активность среды из-за незначительного содержания гумуса в почвах водосборов.

Библиографические ссылки

1. Лукашев В. К., Лопотко М. З., Симуткина Т. Н. Распределение и формы нахождения элементов в сапропелях Белоруссии // Геологическое изучение территории Белоруссии. Минск, 1979. С. 168–171.
2. Особенности генезиса, состава и свойств сапропелей БССР и их практическое применение / С. В. Богданов [и др.] // Геология месторождений строительных материалов и др. немет. полезн. ископ. БССР. Минск : БелНИГРИ, 1984. С. 122–138.
3. Курзо Б. В., Богданов С. В. Генезис и ресурсы сапропелей Белоруссии. Минск : Наука и техника, 1986.
4. Лопотко М. З., Евдокимова Г. А. Сапропели и продукты на их основе. Минск : Наука и техника, 1986.
5. Гордобудская О. М., Курзо Б. В., Будай Т. К. Характеристика фоновое накопления некоторых микроэлементов в сапропелях озер Белоруссии // Геохимия. 2000. № 9. С. 1018–1024.
6. Состав современных осадков озер как индикатор природных и техногенных процессов / Б. В. Курзо [и др.] // Природные ресурсы. 1998. № 1. С. 98–107.
7. Курзо Б. В. Биологический состав сапропеля и остатки гидробиоты для диагностики трофического уровня озер // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. 2005. № 2. С. 41–46.
8. Hakanson L. Sediment sampling in different aquatic environments: statistical aspects // Water Resources Research. 1984. Vol. 20. № 1. P. 41–49.
9. Зайнчковский А. М. Мировая война 1914–1918 гг.: общестратегический очерк. М., 1924.
10. Использование искусственных сорбентов для мониторинга радиоактивности озерных бассейнов Беларуси / В. К. Лукашев [и др.] // Весці АН Беларусі. Сер. хім. навук. 1997. № 3. С. 83–88.