

Spatiotemporal features of the distribution of Cd, Hg, Pb in bottom sediments of small lakes in the south of Western Siberia formed in various types of sedimentogenesis

Short communication

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGY

Malov G.I.*, Strahovenko V.D., Ovdina E.A., Malov V.I.

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ave. Academician Koptyug, 3, Novosibirsk, 630090, Russia

ABSTRACT. The paper presents data on the weight contents of Cd, Hg, Pb in bottom sediments of small lakes in the south of Western Siberia. For sapropel deposits of natural moisture of different types and classes, formed under conditions of all types of sedimentogenesis (humid, arid and nival), the average calculated volumetric contents of Cd, Hg, Pb: 0.05 g/m³, 0.01 g/m³, 3 g/m³, respectively. It was revealed that their volumetric quantity per 1 m³ in sapropel deposits of natural humidity of small lakes does not increase during the Holocene period, varying from lake to lake regardless of the type of sedimentogenesis and composition of bottom sediment.

Keywords: bottom sedimentation, heavy metals, geochemistry

For citation: Malov G.I., Strahovenko V.D., Ovdina E.A., Malov V.I. Spatiotemporal features of the distribution of Cd, Hg, Pb in bottom sediments of small lakes in the south of Western Siberia formed in various types of sedimentogenesis // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 410-415. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-410

1. Introduction

The huge resources of sapropels, the composition of their organic and mineral parts allow us to consider sapropel deposits as a valuable mineral resource, suitable for use in various sectors of the national economy. The traditional use of sapropel is associated with agriculture and medicine (balneology). In this connection, the question of the quality of sapropel raw materials and its harmlessness to humans is urgent. Therefore, an attempt was made to quantitatively assess the increase in the volumetric pool of pollutant elements (Cd, Hg, Pb) in the upper part of the sapropel deposits of the studied lakes.

2. Materials and methods

The object of the study is small lakes in the south of western Siberia. The lakes are located in the south-eastern part of the West Siberian platform bordering the Altai-Sayan folded region, within the Ob-Irtysh interfluvium, and some of the lakes are located on the territory of the Altai Mountains (Ukok plateau, Ulagan valley). A total of 81 lakes were studied, belonging to different landscape zones: Subtaiga West Siberian landscape - 16

lakes, Forest-steppe West Siberian landscape - 30 lakes, Typical West Siberian steppe landscape - 11 lakes, Mid-mountain belt of larch and cedar-larch forests - 4 lakes, High mountain goltsy belt - 7 lakes, extrazonal landscapes (ribbon forests) – 13 lakes (National..., 2007).

The choice of model lakes was determined by the desire to cover all classes of sapropels (classification of V.I. Korde with modifications by V.D. Strakhovenko) for all types of sedimentogenesis characteristic of the landscape zones under study.

Sampling is carried out with a continuous core to the entire depth of bottom sediments using a cylindrical sampler with a vacuum shutter designed by NPO Typhoon (d - 82 mm and L - 120 cm).

Analytical work was carried out at the Analytical Center for multi-elemental and isotope research SB RAS, Novosibirsk, Russia.

To determine the macro- and microelement composition of the samples, the atomic absorption method and mass spectrometry were used. The morphology, mineral, phase and chemical composition of bottom sediments were analyzed using a scanning electron microscope and X-ray diffractometry. The activities of ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs are determined according to gamma

*Corresponding author.

E-mail address: malovgi@igm.nsc.ru (G.I. Malov)

Received: June 07, 2024; **Accepted:** July 08, 2024;

Available online: August 26, 2024

© Author(s) 2024. This work is distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



spectrometry data. Sedimentation rates are estimated by radiometric dating methods using atmospheric ^{210}Pb under a constant flux model (CRS) verified by ^{137}Cs activity peaks across marker horizons.

3. Results and discussion

Previously, a study of the vertical and lateral distribution of microelements in the bottom sediments of the studied lakes showed an increase in concentrations along the section of sapropel deposits towards the “bottom sediment-water” interface of Cd, Hg, Pb.

The global approach to studying the quality of sapropel raw materials involves assessing the concentrations of pollutant elements per dry matter, but the accounting of reserves, the extraction of sapropel and its use is carried out in its natural form (native sapropel), with a wide range of humidity and density. As a result, there is a need for weight and/or volumetric accounting of pollutant elements.

To carry out calculations in each model lake (41 lakes), the section of bottom sediments is divided (according to dating data) into two parts: the upper one - the last 100 years (as the time period with the maximum anthropogenic input) and the lower one - the period of 100-300 years.

Calculation of the volumetric number of potential pollutants in native sapropel were produced according to the formula:

$$M = \rho_{\text{sk.zal}} \cdot V \cdot K, \quad (1)$$

where: M is the mass of the element in the deposit, t ; $\rho_{\text{sk.zal}}$ – skeletal density of sapropel deposit (dry matter content per unit volume of deposit), t/m^3 ; V – volume of sapropel, m^3 ; K – element concentration in dry sapropel sample, g/t .

For standardization and ease of calculation, the volume of sapropel was taken as $1 m^3$. The concentration of the element in a dry sapropel sample was obtained from analytical studies as the average value of all measurements. The density of the sapropel deposit skeleton is a calculated value and is calculated using the formula:

$$\rho_{\text{sk.zal}} = \frac{\rho_t \cdot (1 - \omega)}{\omega \cdot (\rho_t - 1) + 1}, \quad (2)$$

where:

ω – relative humidity of sapropel, %

ρ_t – density of the solid phase of sapropel, t/m^3

Relative humidity was taken according to analytical studies as the average value of all measurements for each part of the section; the density of the solid phase of sapropel is a value directly proportional to the content of organic matter in the sample; for sapropels it varies from 1.4 to 2.7 t/m^3 . The dependence has been studied by many scientists, and a number of formulas for calculations have been proposed; in this work, the

formula of V.A. Filin is used. (Filin, 1988):

$$\rho_t = 2.58 - 0.016 \cdot I, \quad (3)$$

where, I is the content of organic matter in the sample, obtained from the results of analytical studies.

The main indicators that influence the weight content of elements of potential pollutants are: the concentration of the calculated element in the sample, humidity and ash content. In general, the content of potential pollutant elements in the upper part of the section is higher than in the lower part. And changes in humidity and ash content fully correspond to the ideas about temporary transformations in bottom sediments of lakes, namely: compaction of sediment over time, destruction of organic matter, formation of authigenic minerals, etc. Average characteristics of the upper and lower parts of the sections (Humidity - 82% and 69% ; ash content – 59% and 64%, respectively). Average calculated weight contents of elements - potential pollutants in bottom sediments: Cd - 0.05g/ m^3 , Hg - 0.01g/ m^3 , Pb – 3 g/ m^3 .

A comparison was made of the mass content of Cd, Hg, Pb for different types and classes of sapropels. For all types of sapropels, the volumetric weight of the studied elements in the lower part of the sections is higher, and this is associated with higher density and ash content, and as a consequence, higher concentration of elements per volume of $1 m^3$. It should also be noted that there is a significant difference in the mass content of Cd, Hg, Pb in Ca type sapropel. In the studied lakes, authigenic carbonate formation is widespread, in which all other sapropel matter (organic, mineral) is diluted.

A comparative analysis of the weight content of elements (Cd, Hg, Pb) was also carried out for bottom sediments of lakes located in different types of sedimentogenesis. For all types of sedimentogenesis, the weight content of the studied elements in the upper parts of the section is less than in the lower parts. But it is worth noting that under the conditions of each type of sedimentogenesis there are lakes for which the weight content of the studied elements in the upper part of the bottom sediment section is higher than in the lower (Lake Yakovo - humid type of sedimentogenesis, Lake Tanatar 6 - arid type of sedimentogenesis, Lake Horseshoe – nival type of sedimentogenesis).

To assess the prospects of the studied lakes as sapropel deposits, the quality of sapropel was assessed for compliance with the requirements of GOST R 54000-2010. The sapropels of all the studied lakes correspond in all respects to GOST R 54000-2010. According to the content of heavy metals, sapropel belongs to the first class of suitability. “Sapropels of the first class of suitability are used for all types of agricultural crops, in horticulture, floriculture, forestry, for the reclamation of soils, dumps, improvement and landscaping of urban, including recreational, territories in doses recommended taking into account the type of crop, the fertility of each individual fields” (GOST R 54000-2010). From which we can conclude that, despite the

general global increase in the flow of Cd, Hg, Pb into the environment, no deterioration in the quality of sapropel raw materials has been detected..

4. Conclusions

The temporary change in the weight and/or volume pool of pollutant elements (Cd, Hg, Pb) in the sections of sapropel deposits of the studied lakes was quantitatively assessed, and the quality of sapropel raw materials was assessed in accordance with GOST R 54000-2010. According to the content of heavy metals, sapropel belongs to the first class of suitability. Average calculated weight contents of elements - potential pollutants in bottom sediments: Cd - 0.05 ± 0.05 g/m³, Hg - 0.01 ± 0.01 g/m³, Pb - 3 ± 2.7 g/m³. For sapropel deposits of different types and classes, formed under conditions of all types of sedimentogenesis (humid, arid and nival), the weight content of the studied elements in the upper parts of the section (last 100 years) is less than in the lower ones. This means that, given the general global trends of increasing concentrations of heavy metals in the environment, the quality of sapropel raw materials has not deteriorated.

Acknowledgements

The study was carried out at the expense of a grant Russian Science Foundation № 23-27-00111, <https://rscf.ru/en/project/23-27-00111/>.

Conflict interest

The authors declare no conflicts of interest.

References

- Filin V.A. 1988. Express method for determining the density of sapropel. Peat industry 2.
- GOST R 54000-2010. 2011. Organic fertilizers. Sapropels. General technical conditions. Moscow: Standartinform.
- National Atlas of Russia: In 4 volumes. 2007. In: Dumnov A. D. (Ed.). Moscow: PMA "Cartography" (in Russian)

Пространственно-временные особенности распределения Cd, Hg, Pb в донных отложениях малых озёр юга Западной Сибири, формирующихся в различных типах седиментогенеза

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGY

Малов Г.И.*, Страховенко В.Д., Овдина Е.А., Малов В.И.

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского Отделения РАН, пр-т Академика Коптюга 3, Новосибирск, 630090, Россия

АННОТАЦИЯ. В работе представлены данные о весовых содержаниях Cd, Hg, Pb в донных отложениях малых озёр юга Западной Сибири. Для сапропелевых отложений естественной влажности разных типов и классов, формирующихся в условиях всех типов седиментогенеза (гумидный, аридный и нивальный), средние расчётные объёмные содержания Cd, Hg, Pb: 0.05 г/м³, 0.01 г/м³, 3 г/м³, соответственно. Выявлено, что объёмное количество их на 1 м³ в сапропелевых отложениях естественной влажности малых озёр не возрастает в период голоцена, варьируя от озера к озеру независимо от типа седиментогенеза и состава донного осадка.

Ключевые слова: донные отложения, тяжёлые металлы, геохимия

Для цитирования: Малов Г.И., Страховенко В.Д., Овдина Е.А., Малов В.И. Пространственно-временные особенности распределения Cd, Hg, Pb в донных отложениях малых озёр юга Западной Сибири, формирующихся в различных типах седиментогенеза // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 410-415. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-410

1. Введение

Огромные ресурсы сапропелей, состав их органической и минеральной частей позволяют считать сапропелевые отложения ценным полезным ископаемым, пригодным для использования в различных отраслях народного хозяйства. Традиционное использование сапропеля связано с сельским хозяйством и медициной (бальнеологией). В связи с чем остро стоит вопрос об качестве сапропелевого сырья и его безвредности для человека. Поэтому сделана попытка количественно оценить увеличение объёмного пула элементов-поллютантов (Cd, Hg, Pb) в верхней части сапропелевых залежах изученных озёр.

2. Материалы и методы

Объектом исследования являются малые озера юга западной Сибири. Озера расположены в юго-восточной части Западно-Сибирской платформы граничащей с Алтае-Саянской складчатой областью, в пределах Обь-Иртышского междуречья, также часть озёр расположены на территории Горного Алтая (плато Укок, Улаганская долина). Всего исследо-

вано 81 озер, относящих к разным ландшафтным зонам: Подтаёжный западносибирский ландшафт – 16 озёр, Лесостепной западносибирский ландшафт – 30 озёр, Степной типичный западносибирский ландшафт – 11 озёр, Среднегорный пояс лиственных и кедрово-лиственных лесов – 4 озера, Высокогорный гольцовый пояс – 7 озёр, экстремальные ландшафты (ленточные боры) – 13 озёр (Национальный ..., 2007).

Выбор модельных озёр обусловлен желанием охватить все классов сапропелей (классификация Кордэ В.И. с доработками Страховенко В.Д.) для всех типов седиментогенеза, характерных для исследуемых ландшафтных зон.

Пробоотбор производится непрерывным керном на всю глубину донных отложений при помощи цилиндрического пробоотборника с вакуумным затвором конструкции НПО «Тайфун» (d - 82 мм и L - 120 см).

Аналитическая работа проводилась в Аналитическом центре многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, Новосибирск, Россия.

Для определения макро- и микроэлементного состава проб использовался атомно-абсорбционный

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: malovgi@igm.nsc.ru (Г.И. Малов)

Поступила: 07 июня 2024; Принята: 08 июля 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024



метод и масс-спектрометрия. Морфология, минеральный, фазовый и химический состав донных отложений анализировались при помощи сканирующего электронного микроскопа и методом рентгеновской дифрактометрии. Активности ^{210}Pb и ^{137}Cs определяется по данным гамма спектрометрии. Скорости осадконакопления оцениваются методами радиометрического датирования с использованием атмосферного ^{210}Pb по модели постоянного потока (CRS) с проверкой пиками активности ^{137}Cs по маркирующим горизонтам.

3. Результаты и обсуждение

Ранее изучение вертикального и латерального распределения микроэлементов в донных отложениях изученных озёр, показало увеличение концентраций по разрезу сапропелевых залежей к границе раздела сред «донный осадок-вода» Cd, Hg, Pb.

Мировой подход в изучении качества сапропелевого сырья подразумевает оценку концентраций элементов поллютантов на сухое вещество, но сам учёт запасов, добыча сапропеля и его использование производится в естественном виде (нативный сапропель), с широким диапазоном влажности и плотности. В следствии чего возникает необходимость весового и/или объемного учёта элементов поллютантов.

Для проведения расчётов в каждом модельном озере (41 озеро) разрез донных отложений разделен (по данным датирования) на две части: верхняя – последние 100 лет (как промежуток времени с максимальным антропогенным поступлением) и нижняя – промежуток 100-300 лет.

Расчёт объемного количества потенциальных поллютантов в нативном сапропеле производился по формуле

$$M = \rho_{\text{ск.звл}} \cdot V \cdot K, \quad (1)$$

где: M - масса элемента в залежи, т; $\rho_{\text{ск.звл}}$ - плотность скелета сапропелевой залежи (содержание сухого вещества в ед. объема залежи), т/м³; V - объем сапропеля, м³; K - концентрация элемента в сухой пробе сапропеля, г/т.

Для стандартизации и удобства расчёта объем сапропеля принимался за 1 м³. Концентрация элемента в сухой пробе сапропеля получена по данным аналитических исследований, как средняя величина всех измерений. Плотность скелета сапропелевой залежи является расчётной величиной и рассчитывается по формуле:

$$\rho_{\text{ск.звл}} = \frac{\rho_t \cdot (1 - \omega)}{\omega \cdot (\rho_t - 1) + 1}, \quad (2)$$

где:

ω - относительная влажность сапропеля, %

ρ_t - плотность твёрдой фазы сапропеля, т/м³

Относительная влажность бралась по данным аналитических исследований, как средняя величина всех измерений, для каждой части разреза,

плотность твёрдой фазы сапропеля величина прямо пропорционально зависящая от содержания органического вещества в пробе, для сапропелей она изменяется от 1,4 до 2,7 т м³. Зависимость исследована многими учёными, и предложен ряд формул для расчётов, в данной работе используется формула Филина В.А. (Филин, 1988):

$$\rho_t = 2.58 - 0.016 \cdot I, \quad (3)$$

где, I - содержание органического вещества в пробе, полученное по результатам аналитических исследований.

Основными показателями, влияющими на весовое содержание элементов потенциальных поллютантов, являются: концентрация рассчитываемого элемента в пробе, влажность и зольность. В целом содержание элементов потенциальных поллютантов в верхней части разреза выше, чем в нижней. А изменения во влажности и зольности полностью соответствуют представлениям о временных преобразованиях в донных осадках озёр, а именно: уплотнению осадка со временем, деструкция органического вещества, образование аутигенных минералов и др. Средние характеристики верхней и нижней частей разрезов (Влажность - 82% и 69%; зольность - 59% и 64 % соответственно). Средние расчётные весовые содержания элементов - потенциальных поллютантов в донных отложениях: Cd - 0.05 ± 0.05 г/м³, Hg - 0.01 ± 0.01 г/м³, Pb - 3 ± 2.7 г/м³.

Проведено сравнение массового содержания Cd, Hg, Pb, для разных типов и классов сапропелей. Для всех типов сапропелей объемного веса изученных элементов в нижней части разрезов выше, и связано это с большей плотностью и зольностью, и как следствием, большей концентрацией элементов на объем 1 м³. Так же следует отметить значительное отличие в массовом содержании Cd, Hg, Pb в Са типе сапропеля. В Изученных озёрах широко распространённо аутигенное карбонатообразование, при котором, все остальное вещество сапропеля (органическое, минеральное) разубоживается.

Так же проведен сравнительный анализ весового содержания элементов (Cd, Hg, Pb), для донных отложений озёр, расположенных в различных типах седиментогенеза. Для всех типов седиментогенеза, весовое содержание изученных элементов, в верхних частях разреза меньше чем в нижних. Но стоит отметить, что в условиях каждого типа седиментогенеза есть озёра, для которых весовое содержание изученных элементов в верхней части разреза донных отложений выше, чем в нижней (оз. Яково - гумидный тип седиментогенеза, оз. Танатар 6 - аридный тип седиментогенеза, оз. Подкова - нивальный тип седиментогенеза).

Для оценки перспективности исследованных озёр, как месторождений сапропеля, проведена оценка качества сапропеля, на соответствие требованиям ГОСТ Р 54000-2010. Сапропели всех исследованных озёр, по всем параметрам соответствует ГОСТ Р 54000-2010. По содержанию тяжёлых металлов сапропель относится к первому классу пригодности. «Сапропели первого класса пригодности».

сти применяются под все виды сельскохозяйственных культур, в садоводстве, цветоводстве, лесном хозяйстве, при рекультивации почв, отвалов, благоустройстве и озеленении городских, в том числе и рекреационных, территорий в дозах, рекомендованных с учетом вида культуры, плодородия каждого отдельного поля» (ГОСТ Р 54000-2010). Из чего можно сделать вывод, что, несмотря на общее мировое увеличение поступления Cd, Hg, Pb в окружающую среду, ухудшения качества сапропелевого сырья не обнаружено.

4. Заключение

Количественно оценено временное изменение весового и/или объемного пула элементов-поллютантов (Cd, Hg, Pb) в разрезах сапропелевых залежах изученных озер, и проведена оценка качества сапропелевого сырья по ГОСТ Р 54000-2010. По содержанию тяжёлых металлов сапропель относится к первому классу пригодности. Средние расчётные весовые содержания элементов - потенциальных поллютантов в донных отложениях: Cd – 0.05 ± 0.05 г/м³, Hg – 0.01 ± 0.01 г/м³, Pb – 3 ± 2.7 г/м³. Для сапропелевых отложений, разных типов и классов, формирующихся в условиях всех типов седиментогенеза (гумидный, аридный и нивальный), весовое содержание изученных элементов, в верхних частях

разреза (последние 100 лет) меньше чем в нижних. Из-чего следует, что при общих мировых тенденциях увеличения концентраций тяжёлых металлов в окружающей среде, качество сапропелевого сырья не ухудшилось.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00111, <https://rscf.ru/en/project/23-27-00111/>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- ГОСТ Р 54000-2010. 2011. Удобрения органические. Сапропели. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ.
- Национальный атлас России: В 4-х томах. 2007. Думнов А.Д.. Москва: ПКО «Картография».
- Филин В.А. 1988. Экспресс-метод определения плотности сапропеля. Торфяная промышленность. 2.