

УДК 550.42:551.312 (470.22)

З. И. Слуковский, А. С. Медведев, Т. П. Бубнова, Е. В. Сыроежко

## **Накопление и вертикальное распределение тяжелых металлов в сапропеле озера Грязное (Медвежьегорский район, Республика Карелия)**

Приводятся результаты исследования сапропелевых отложений и подстилающих сапропели глин озера Грязное (Медвежьегорский район, Республика Карелия). Анализ немногочисленной опубликованной литературы и фондовых источников по запасам и качеству сапропелевого сырья указанного региона позволяет судить о важности изучения этого типа природных ресурсов. В данной работе делается акцент на исследование содержания тяжелых металлов в сапропеле с целью оценки экологического состояния водного объекта и перспективности использования его сапропелевых отложений с практической точки зрения. В работе использованы современные прецизионные методы исследования вещества. Химический анализ донных отложений оз. Грязное проводился при помощи рентгенофлуоресцентного спектрометра ARL ADVANTX и масс-спектрометра XSeries-2 ICP-MS, гранулометрический состав озерных отложений определялся при помощи многофункционального анализатора частиц серии LS13 320. Таким образом, приводятся результаты исследования гранулометрического состава и содержание основных петрогенных компонентов донных отложений оз. Грязное и основные корреляционные закономерности, рассчитанные по полученным данным. Изученная колонка донных отложений карельского озера составляет 3,4 м, где мощность слоя сапропеля равна 3,1 м. Установлено, что содержание органического вещества сапропеля оз. Грязное составляет от 55,2 до 70,2 %. Согласно литературным данным изученный сапропель соответствует типу буровато-коричневых сапропелей, широко распространенных в Карелии и пригодных к практическому использованию различного рода. Содержание тяжелых металлов, определенных во всей толще сапропеля, не превышает установленных норм. Проведено сравнение уровня накопления тяжелых металлов в отложениях оз. Грязное с сапропелями оз. Ламба, расположенного в черте г. Петрозаводск; наглядно показано негативное воздействие антропогенной деятельности на урбанизированных территориях на ухудшение полезных свойств сапропелевых отложений малых озер Карелии.

**Ключевые слова:** сапропель, тяжелые металлы, органическое вещество, гранулометрический состав, вертикальное распределение химических элементов в озерных отложениях.

### **Введение**

Территория Республики Карелия – богатый озерный край. На всей площади региона насчитывается около 61,1 тыс. озер общей площадью 18 тыс. км<sup>2</sup>. Преобладающее значение имеют малые водные объекты [1]. По показателю озерности (отношение суммарной площади озер к площади региона) Карелия превосходит такие богатые внутренними водами страны, как Финляндия, Швеция и Канада [2]. Изучение водных объектов, в том числе озер, является важнейшей как экологической, так и экономической задачей, учитывая значительную роль озер в хозяйственной и промышленной деятельности, транспортном сообщении и рекреации.

Большую ценность представляют сапропели (сапропелевые илы, сапропелевые отложения), образующиеся в значительных количествах на дне карельских озер [3]. Сапропель – это осадки (отложения) пресноводных водоемов, состоящие из отмерших растительных и животных организмов, минеральных веществ и минеральных (терригенных) компонентов с содержанием органического вещества в пересчете на сухую массу более 15 % [4]. Органическое вещество сапропеля состоит не только из образований самого озера (автохтонное органическое вещество), но и пополняется за счет поступлений с водосборной площади водного объекта. Накопление минеральных веществ происходит за счет выпадения из раствора кристаллических солей под влиянием геохимических процессов и в результате жизнедеятельности водных организмов [3].

В итоге сложных физических, химических и биологических процессов сапропель, помимо собственно органического вещества, оказывается обогащенным Са, Fe, N, P, различными микроэлементами (Co, Mn, Cu, Zn и др.) и физиологически активными веществами (каротин, витамины, биостимуляторы, ферменты). Особенности химического состава, агрохимические и физические характеристики, многообразие видов позволяют использовать сапропелевое сырье в различных отраслях народного хозяйства: земледелии, животноводстве и птицеводстве, мелиоративном строительстве и промышленности строительных материалов, медицине, буровой технике, разработке современных биотехнологий [5–10]. К одним из наиболее перспективных направлений применения сапропеля и/или сорбционных материалов на его основе относится детоксикация разного рода поллютантов в почвах, почвогрунтах, воде и других средах, загрязненных тяжелыми металлами и другими экологически опасными веществами [6; 11–15]. Большой популярностью пользуется сапропель в качестве лечебных грязей, которые успешно применяются в медицинской практике для лечения различных заболеваний [5]. В настоящий момент на территории Республики Карелия, в том числе в г. Петрозаводск, действуют несколько санаториев, где успешно практикуется использование лечебных

грязей, добываемых в оз. Габозеро. Важно заметить, что сама по себе добыча сапропелевого сырья со дна стареющих озер и других небольших водоемов также несет в себе большую экологическую значимость, препятствуя полному заболачиванию водных объектов и, как следствие, их омоложению [2]. При этом сапропель является восстанавливаемым и относительно недорогим полезным ископаемым с точки зрения его добычи, транспортировки и хранения перед непосредственным включением его в хозяйственную деятельность человека.

Из всех карельских озер только на 215 малых озерах были проведены геологоразведочные работы по оценке запасов сапропеля [3]. При этом месторождения этого сырья выявлены всего в 164 озерах на общей площади 4,3 тыс. гектар в границе промышленной глубины сапропелевой залежи с общими геологическими запасами и ресурсами 33,4 млн т при 60 % условной влажности сапропеля [16]. Специалистами отмечается крайне низкая изученность озерного сапропеля Карелии: 8,3 % запасов этого полезного сырья (от общих запасов) разведано детально по категории А, 31,1 % – по категории С2 и 60,6 % – оценено прогнозно (Р1 и Р2). Большинство озер, наиболее перспективных для добычи сапропелевого сырья, расположены в южной части Республики Карелия, где кроме прочих благоприятных факторов выделяется фактор развитости инфраструктуры, что крайне важно с точки зрения экономической эффективности практического использования сапропеля как полезного ископаемого.

Согласно изученным фондовым материалам [3] специалистами, проводившими изучение сапропелевых залежей Карелии, оценены такие показатели как глубина водоема, мощность полезной толщи, зольность, рН, концентрации СаО и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и реже – других веществ озерных сапропелевых отложений республики. Многие из важных для оценки перспективности сапропелей показатели остались неизученными. К ним, в частности, относится содержание тяжелых металлов (ТМ) [9].

Стоит отметить, что проблема накопления ТМ в донных отложениях малых водных объектов носит масштабный характер, в том числе и на Европейском Севере России. И хотя максимальные концентрации этих загрязнителей окружающей среды отмечаются при изучении рек и озер, расположенных вблизи непосредственных источников техногенного воздействия [17; 18], опасность загрязнения ТМ поверхностных слоев пресноводных осадков касается также водных объектов, расположенных на условно-фоновых территориях, где может сказываться фактор глобального распространения отдельных загрязнителей через атмосферу Земли [19].

Таким образом, целью данной работы является оценка уровня накопления тяжелых металлов в сапропеле и анализ распределения их концентраций по разрезу донных отложений оз. Грязное, расположенного в Медвежьегорском районе Карелии и перспективного с точки зрения добычи сапропелевого сырья.

Оз. Грязное расположено в 18 км к северу от г. Медвежьегорск (Медвежьегорский р-н Республики Карелия) и в 2 км от федеральной трассы М-18 (рис. 1). Озеро имеет неправильную форму, максимальная длина около 610 м, ширина в самом широком месте – 370 м. Площадь озера – 71 800 м<sup>2</sup>. В южной части озера вытекает небольшой ручей. Берега заболочены, к северной части оз. Грязное примыкает болото.

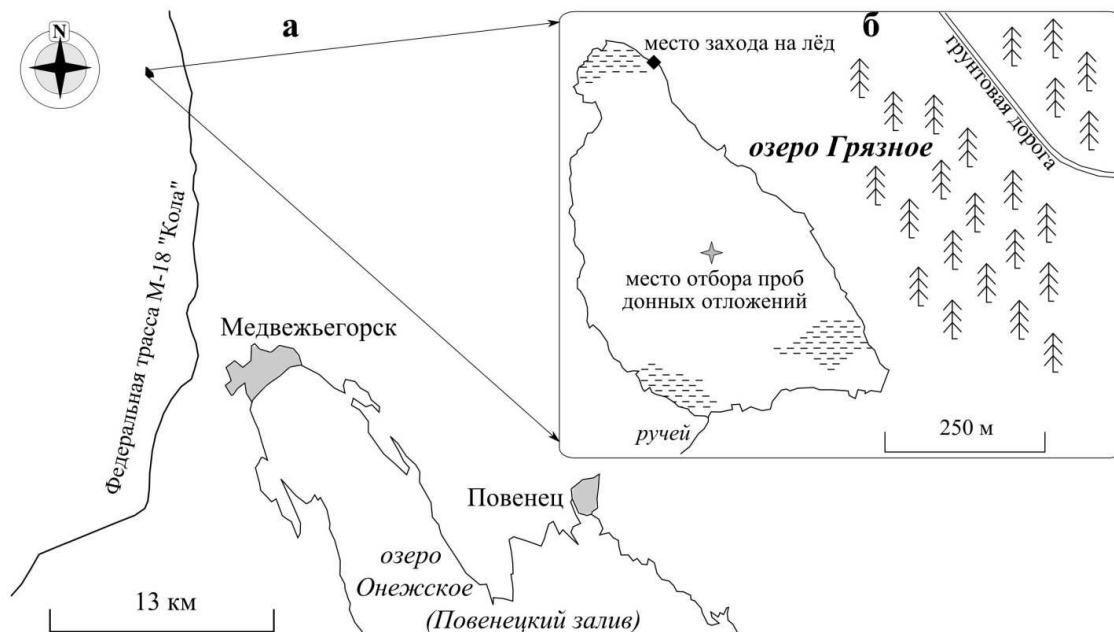


Рис. 1. Карта-схема района исследования (а) и расположения оз. Грязное (б)  
 Fig. 1. Map of the research area (а) and Gрязное Lake location (б)

Глубина оз. Грязное может достигать 2,3 м (средняя – 1,82 м). Мощность сапропелевой толщи водоема в среднем составляет 1,5 м при максимуме – 3,0 м [3]. Общий запас полезного сырья изучаемого озера составляет 118 тыс. т при 60 % условной влажности сапропеля. Последний раз поисково-оценочные работы на оз. Грязное проводились в 1988 г.; по рекомендации специалистов сапропель данного водоема целесообразно использовать в качестве органического удобрения [16].

### Материалы и методы

Во время полевого выезда, осуществленного 28 марта 2016 г., был исследован разрез донных отложений оз. Грязное. Глубина озера в месте исследования (рис. 1) составляет 1,6 м, мощность слоя сапропеля составляет 3,1 м. На глубине донных отложений 4,7 м установлен контакт сапропелей с голубовато-серыми глинами, в которые удалось пробуриться лишь на глубину 0,3 м. Координаты места отбора проб: N 63°03'58,3" и E 34°19'42,3". Отбор проб осуществлялся со льда озера при помощи дночерпателя Экмана – Берджа ("ковш") и ручного бура Института торфа с глубиной проникновения в осадок до 0,5 м. Отверстия во льду проделывались с использованием ледобура и ручной пилы для резки льда Laxström. После отбора пробы помещались в пластиковые контейнеры, определение pH донных отложений производилось на месте с использованием pH-метра-милливольтметра pH-420 (НПО Аквилон) и стеклянного комбинированного электрода ЭСК-10610 (Измерительная техника). Хранение и транспортировка образцов проб перед лабораторными исследованиями производилась с использованием сумки-холодильника и хладоэлементов.

Подготовка проб к химическому анализу включала в себя просушку образцов до воздушно-сухого состояния в лабораторных условиях для того, чтобы выпарить влагу, не связанную с отобранном каменным материалом, затем просушку проб в печи при температуре 100–105 °С до постоянного веса изучаемых образцов. Далее пробы истирались до порошкообразного состояния на лабораторном истирателе, и из полученной пробы брали разные навески на химический силикатный анализ, химический микроэлементный анализ и определение потерь при прокаливании (LOI = Loss On Ignition), которые служат надежным индикатором содержания органического вещества в донных отложениях, в том числе в сапропелевых илах [20]. Содержание LOI проводилось весовым способом после прокалывания образцов при температуре 1000 °С. Обычно все органические соединения выгорают в диапазоне температуры от 100 до 450 °С [21].

Для проведения гранулометрического анализа отобранных проб донных отложений использовались образцы с естественным содержанием влаги, а также образцы, частично просушенные в лабораторных условиях. Во втором случае пробы перед проведением анализа отмачивались в дистиллированной воде, отдельные комочки разламывались пестиком в керамической ступке. Определение гранулометрического состава донных отложений оз. Грязное проводилось при помощи многофункционального анализатора частиц серии LS13 320 (Beckman Coulter). Технические особенности прибора позволяют анализировать частицы размером от 0,04 мкм до 2,0 мм в соответствии со стандартом ISO 13320-1. В связи с тем, что точность определения гранулометрического состава непосредственно зависит от подготовки материала к анализу, выделение навесок включало тщательное усреднение материала методом квартования (с применением желобового делителя Джонса). Данная методика применялась нами при изучении песчаных речных отложений малых водотоков г. Петрозаводск [22; 23].

Химический анализ донных отложений оз. Грязное проводился при помощи рентгенофлуоресцентного спектрометра ARL ADVANTX (ThermoFisher Scientific), на котором производилось определение концентраций основных компонентов отложений – окислов Si, Al, Fe, Na, Ca, K, Mn, Ti и P. Подготовка пробы к анализу включала в себя плавление образца и флюса в золото-платиновых тиглях в электроплавильной печи для приготовления образцов Katanax K1 (SPEX SamplePrep), остывания стекловатого расплава и изготовление из него стеклянного диска для измерений.

Микроэлементный состав, в частности определение концентраций ТМ в донных отложениях, определялся масс-спектральным методом на приборе XSeries-2 ICP-MS (Thermo Scientific). Разложение образцов донных отложений проводили путем кислотного вскрытия в открытой системе. Для анализа использовали аналитические навески образцов массой 0,1 г. Вместе с анализируемыми образцами проводили разложение холостых проб и одного стандартного (контрольного) образца (химический состав донного ила оз. Байкал БИЛ-1 – ГСО 7126-94). Подробная методика подготовки пробы к химическому анализу описана в ранних работах авторов [21; 24].

Результаты полученных данных обработаны статистически: рассчитаны среднеарифметическая величина, медиана, минимальные и максимальные значения выборок, коэффициенты корреляции методом Пирсона. Для графической иллюстрации результатов использованы программы EasyCapture 1.2.0 и Inkscape 0.48.4.

### Результаты и обсуждение

*Общие сведения.* Отобранные образцы проб донных отложений оз. Грязное представляют темно-бурый сапропель (глубина 1,6–4,5 м) и голубовато-серую глину (4,7–5,0 м), которая подстилает сапропелевые илы водоема. Плотность сапропеля из ковшовой пробы составляет 952 кг/м<sup>3</sup>. Значение pH сапропеля оз. Грязное

оказалось равным 6,52 (слабокислая реакция), что несколько выше значения 4,5–5,1, известного по фондовым материалам [3]. Следовательно, со времени проведения геологоразведочных работ в данном водоеме произошли существенные изменения. Среднее значение зольности изученных сапропелевых илов составляет 34 %, что позволяет отнести их к типу органо-силикатных сапропелей, используемых в качестве удобрений и лечебных грязей [16].

*Гранулометрический состав.* Наибольший вес в самом верхнем слое осадка, представленном сапропелем, имеют частицы донных отложений оз. Грязное от 0,01 до 0,25 мм – 85,2 %, а в среднем по всему разрезу сапропелевых илов эти частицы составляют 63,0 % от числа всех фракций. Частицы размером < 0,01 мм в среднем составляют 4,6 %, усредненное содержание фракции 0,25–2,0 мм изучаемых сапропелей равно 32,3 %. В слоях сапропеля на глубине от 2,1 до 4,5 м отмечается увеличение содержания фракции 0,5–1,0 мм до 16,1 % и фракции 1,0–2,0 мм до 7,2 % по сравнению с самым верхним слоем отложений, который граничит с водой (рис. 2). Наиболее равномерно по всему разрезу распределены частицы размером от 0,1 до 0,25 мм (коэффициент вариации 7,2 %). Наибольшее содержание частиц этой фракции (0,1–2,5 мм) установлено в слое сапропеля на глубине от 4,1 до 4,5 м. Среднее содержание частиц фракций 0,05–0,1 мм и 0,01–0,05 мм в сапропелях оз. Грязное составляет 16,4 % и 18,7 % соответственно. Наибольшее их накопление наблюдается на глубине донных отложений от 2,1 до 3,0 м изученного разреза пресноводных осадков.

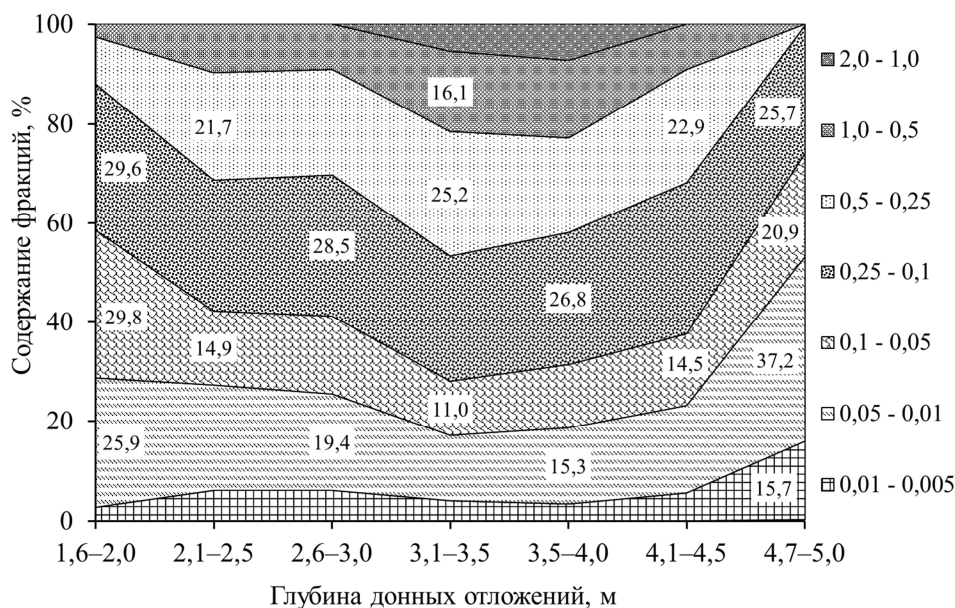


Рис. 2. Распределение различных гранулометрических фракций (%) по глубине залегания донных отложений озера Грязное (Медвежьегорский район, Республика Карелия)  
 Fig. 2. The distribution of different fractions (%) according of occurrence depth of bottom sediments of Gрязное Lake (Medvezh'egorsk district, Republic of Karelia)

*Гранулометрический состав глин оз. Грязное, подстилающих сапропелевые илы, резко отличается от аналогичных характеристик сапропеля исследованного озера. Отсутствуют частицы размером 0,5–1,0 мм, а частицы размером от 0,25 до 0,5 мм составляют 0,26 % от общего числа всех частиц отложений. Суммарное содержание фракции 0,01–0,25 мм составляет 83,8 %, частицы размером < 0,01 мм составляют 16 %, что более чем в 3 раза больше аналогичного показателя для сапропеля.*

*Содержание петрогенных элементов и органического вещества.* Наибольшее содержание Si отмечено в верхней части разреза сапропеля – 41,5 %, наименьшее в слое 3,6–4,0 м. Среднее содержание оксида Si равно 31,2 %. В глинах концентрация кремнезема достигает 66,8 %. Алюминий наиболее обильно накапливается в нижней части разреза сапропелевых илов оз. Грязное, достигая 2,2 %, наименьшее содержание этого элемента отмечено в самом верхнем слое колонки – 0,87 %. В глинах содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> достигает 13,7 %. Содержание общего Fe в изученных образцах проб сапропеля увеличивается с глубиной отбора проб, достигая 1,25 % в слое 4,1–4,5 м. Наименьшие концентрации Fe (0,47 %) отмечаются в верхней части разреза. В глинах концентрация общего Fe достигает 3,4 %.

Содержание Na обнаружено лишь в 50 % проб сапропелевых илов оз. Грязное, наибольшие концентрации отмечены в слое 4,1–4,5 м, в глинах содержание оксида Na равно 2,8 %. Концентрации оксида Ca в донных отложениях оз. Грязное варьируют от 0,94 % в сапропелевых илах на глубине 1,6–2,0 м до 2,74 % – в глинах, подстилающих сапропель. Наибольшее содержание CaO в сапропелях отмечено в слое 4,1–4,5 м. Калий максимально накапливается (0,27 %) в сапропелевых илах на глубине отложений 4,1–4,5 м,

минимальное содержание этого петрогенного компонента отмечено на глубинах 1,6–3,5 м, что составляет 0,09–0,10 %. В глинах содержание  $K_2O$  достигает 2,1 %. Наибольшее содержание оксида Mg (0,44 %) отмечено в слое 4,1–4,5 м, минимальное – в самом верхнем слое колонки (0,17 %). В глинах концентрация его достигает 1,62 %.

Титан максимально накапливается в толще 4,1–4,5 – 0,10 %, минимальные концентрации отмечены на глубине донных отложений 1,6–3,5 м (0,04 %). В глинистых осадках концентрация оксида Ti равна 0,55 %. Фосфор превалирует на глубине сапропелевых илов 3,6–4,0 м – 0,15 %. Минимальное содержание  $P_2O_5$  отмечено в верхней части осадочного разреза – 0,06 %. Содержание  $P_2O_5$  в глине – 0,10 %. Органическое вещество максимально накапливается на глубине донных отложений 3,6–4,0 м – 70,2 %, минимальное содержание отмечено в глинах, подстилающих сапропелевые илы, – 5,3 %. В сапропелях минимальное содержание органики установлено в верхней части изученного разреза – 55,2 %.

Отмечается высокий положительный уровень корреляционной связи между концентрациями Si, Al, Fe, Na, Ca, K, Mg, Mn и Ti и фракцией < 0,01 мм изученных донных отложений (табл. 1). Это говорит о преобладании терригенного материала среди самых тонких и тонкодисперсных фракций озерных осадков. Органическое вещество, наоборот, имеет значимую отрицательную корреляцию с содержанием в отложениях частиц обозначенной фракции. При этом отмечается положительная взаимосвязь между органикой и фракцией 0,25–1,00 мм, что говорит о преобладании среди крупных частиц сапропелевых отложений неразложившихся органических останков (детрита). Аналогично высоким уровнем положительной корреляционной связи с крупными частицами изученных отложений оз. Грязное характеризуется фосфор, который является одним из основных биогенных элементов в донных отложениях. Остальные макроэлементы (Si, Al, Fe, Na, Ca, K, Mg, Mn, Ti) отрицательно коррелируют с фракциями от 0,1 мм и выше исследованных озерных осадков.

Таблица 1. Корреляционный анализ между содержанием петрогенных элементов и различными гранулометрическими фракциями донных отложений оз. Грязное ( $R_{кр} = 0,75$  при  $p < 0,1$ ,  $n = 7$ )  
Table 1. The results of correlation analyses between main of petrogenic elements and different size fractions of bottom sediments of Gryaznoe Lake ( $R_{cr} = 0,75$  for  $p < 0,1$ ,  $n = 7$ )

Размер фракции, мм	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>общ.</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
2,0–1,0	–0,42	–0,24	–0,22	–0,25	–0,26	–0,27	–0,28	–0,39	–0,26	0,77	0,37
1,0–0,5	–0,83	–0,62	–0,56	–0,64	–0,64	–0,64	–0,62	–0,65	–0,64	0,67	0,77
0,5–0,25	–0,94	–0,80	–0,72	–0,82	–0,81	–0,81	–0,78	–0,72	–0,81	0,34	0,91
0,25–0,1	–0,32	–0,39	–0,33	–0,38	–0,40	–0,37	–0,33	–0,32	–0,35	–0,25	0,34
0,1–0,05	0,57	0,22	0,12	0,24	0,24	0,24	0,19	0,19	0,24	–0,73	–0,45
0,05–0,01	0,96	0,83	0,75	0,84	0,85	0,84	0,82	0,83	0,84	–0,49	–0,94
0,01–0,005	0,85	0,95	0,94	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	–0,07	–0,91
< 0,005	0,93	0,99	0,97	0,99	1,00	0,99	0,99	0,96	0,99	–0,09	–0,98

Примечание:  $R_{кр}$  – критические значение коэффициента корреляции.

Согласно данным И. М. Экмана [2] сапропель оз. Грязное по всему изученному разрезу соответствует типу буровато-коричневых сапропелей, образующихся в окислительной среде, в которой органическое вещество и железистые минералы окисляются с помощью аэробных бактерий. Эти отложения отличаются высоким содержанием органики (42,2–80,7 %), содержание суммарного Fe, как правило, не превышает 5 %. Отмечается, что аналогичные сапропели накапливаются в малых озерах западной и центральной частей Карелии, к которым относится Медвежьегорский район республики.

*Тяжелые металлы.* Содержание ТМ было определено во всех изученных пробах донных отложений (сапропеле и глине) оз. Грязное. Концентрации Cr и Mo незначительно возрастают с увеличением глубины сапропелевых отложений (рис. 3, а). Минимальное содержание установлено в слое 1,6–2,0 м, максимальное – в слое 4,0–4,5 м. При этом концентрация Cr резко возрастает в нижележащем слое глины – в 6 раз по сравнению со средним содержанием этого металла в сапропеле озера. Молибден, наоборот, в 6 раз уменьшается в слое глины относительно его концентрации в сапропелевых осадках исследуемого водного объекта.

Распределение в изучаемых сапропелевых осадках оз. Грязное Cd сильно варьирует по всей глубине исследованной колонки озерных отложений, достигая максимума в слое 4,0–4,5 м, а минимальная концентрация отмечается на глубине 2,0–3,0 м (рис. 3, б). Содержание этого ТМ в глине не сильно отличается от среднего содержания Cd в сапропеле озера (табл. 1). Вертикальное накопление W в толще сапропеля оз. Грязное равномерно распределено по всему изученному разрезу, наибольшая концентрация W отмечается в самом верхнем слое отложений 1,6–2,0 м (рис. 3, в). Минимальное содержание этого ТМ отмечено на глубине 3,5–4,0 м, в глине происходит резкое увеличение концентрации W по сравнению с сапропелем.

Содержание Co возрастает прямо пропорционально глубине донных отложений оз. Грязное (рис. 3, в): наибольшие значения этого элемента отмечаются в слое 4,0–4,5 м, наименьшие – на глубине 1,6–2,0 м.

В глинах, подстилающих сапропель, содержание Co значительно выше, чем в верхних слоях донных отложений изучаемого водоема (табл. 2). Максимальное содержание Pb в сапропеле оз. Грязное отмечается в верхнем слое отложений (1,6–2,0 м), что может быть связано с эффектом глобального загрязнения соединениями Pb, использовавшимися в середине XX века в качестве добавки к моторному топливу [25–27], минимальное – на глубине 3,0–3,5 м. В глинах концентрации этого тяжелого металла аналогично с Co резко возрастают, что объясняется более высоким содержанием терригенного материала в глинах по сравнению с сапропелевыми отложениями (рис. 3, в).

Таблица 2. Содержание (мг/кг) тяжелых металлов в донных отложениях оз. Грязное в сравнении с нормой для сапропелей  
Table 2. The content (mg/kg) of heavy metals in bottom sediments of Gryaznoe Lake compared to allowable heavy metals' concentrations for sapropel

	Сапропель оз. Грязное					Глина	Норма для сапропеля, не более
	Me	$x_{min}$	$x_{max}$	$S_{Me}$	$V, \%$		
Co	5,2	2,7	6,3	1,5	29,2	10,4	20
Ni	9,1	6,9	16,6	2,4	25,9	27,4	50
Cu	11,0	7,7	33,4	4,4	40,2	23,4	100
Zn	61,6	35,7	89,1	21,4	34,7	45,1	300
Cd	0,40	0,19	0,90	0,13	31,3	0,51	3
Pb	3,4	2,2	28,4	1,2	35,8	11,4	50
Cr	10,1	6,8	18,1	2,3	23,0	59,1	100
Mn	89,7	80,4	167	7,0	7,8	340	500
Mo	5,1	2,8	12,4	3,0	58,5	1,1	20
V	41,6	33,9	55,0	8,2	19,8	112,4	н/д
W	0,26	0,18	0,45	0,05	21,2	0,52	н/д

Примечание: Me – медиана,  $x_{min}$  и  $x_{max}$  – минимальное и максимальное значение выборки,  $S_{Me}$  – стандартное отклонение медианы,  $V$  – коэффициент вариации, н/д – нет данных.

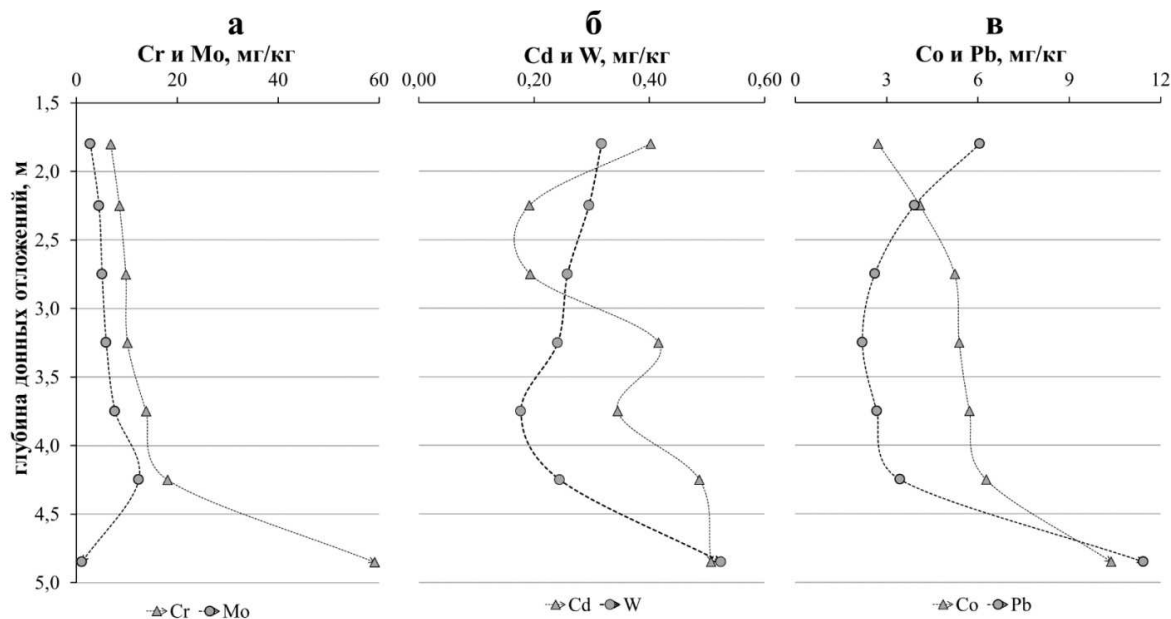


Рис. 3. Вертикальное распределение Cr, Mo, Cd, W, Co и Pb в донных отложениях (сапропеле и глине) оз. Грязное  
Fig. 3. The vertical distribution of Cr, Mo, Cd, W, Co, and Pb in bottom sediments (sapropel and clay) of Gryaznoe Lake

Содержание Ni и Cu почти равномерно возрастает в толще сапропеля оз. Грязное от границы вода – дно к контакту с глиной, подстилающей сапропель (рис. 4, а). Наибольшее значение обоих металлов отмечается на глубине 4,0–4,5 м, наименьшее – в слое от 1,6 до 2,0 м.

Максимальное содержание Zn в разрезе изученных донных отложений оз. Грязное отмечено в слое 3,5–4,0 м, минимальное – на глубине 1,6–2,0 м (рис. 4, б). Интересно, что в отличие от некоторых других ТМ содержание цинка в глине, подстилающей сапропелевые отложения, ниже среднего значения концентрации

этого химического элемента в толще сапропеля (табл. 2). Скорее всего, это связано с тем, что Zn, будучи важным эссенциальным элементом, входит в состав различных органических соединений, которыми богаты сапропели [7]. Содержание V в колонке сапропеля исследуемого озера медленно возрастает от верхней части разреза к слоям сапропеля, примыкающим к отложениям глины (глубина 4,0–4,5 м). В глине содержание этого ТМ значительно возрастает, превышая среднее содержание V в сапропеле озера почти в 3 раза (табл. 2).

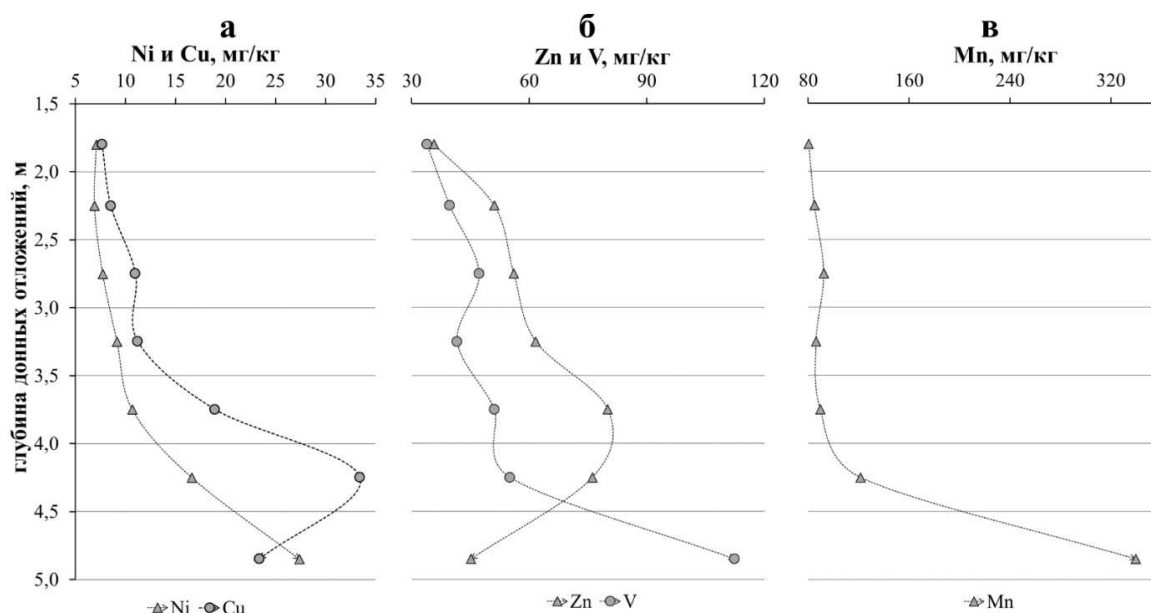


Рис. 4. Вертикальное распределение Ni, Cu, Zn, V и Mn в донных отложениях (сапропеле и глине) оз. Грязное  
Fig. 4. The vertical distribution of Ni, Cu, Zn, V, and Mn in bottom sediments (sapropel and clay) of Gryaznoe Lake

Содержание Mn (рис. 4, в) относительно равномерно распределено в толще сапропеля оз. Грязное, небольшой максимум отмечен в слое сапропелевых осадков на глубине 4,0–4,5 м. При этом концентрация Mn в глинах в 4 раза превышает среднее содержание этого элемента в толще сапропеля изучаемого водного объекта.

Корреляционный анализ выявил тесную значимую связь между различными изученными ТМ в сапропелевых отложениях оз. Грязное (табл. 3). Наиболее высокий уровень тесноты связи установлен между Ni – Cr, Ni – Cu, Ni – Mo, Cu – Cr, Cu – Mo, Cd – Pb, Cd – Mn, Pb – Mn, Cr – Mo, W – Pb, V – Co, V – Cr, V – Mo при 99 %-м уровне надежности ( $p < 0,01$ ) и Co – Cr и Co – Mo, V – Ni, V – Cu при 95 %-м уровне надежности ( $p < 0,05$ ). Указанные тесные взаимоотношения между изученными ТМ отражают, с одной стороны, единство их природных источников, связанных с месторождениями и рудными проявлениями этих элементов на территории Карелии [28], а с другой стороны – общие фазы-носители металлов в сапропелевых илах, к которым относятся соединения Fe и Mn, органическое вещество и алюмосиликатный комплекс.

Стоит отметить также, что наибольшей вариабельностью концентраций отличается содержание в изученной колонке сапропелевых отложений Mo (58,5 %), наименьшей – Mn (7,8 %). Остальные элементы выстраиваются в следующий общий ряд (по убыванию коэффициентов вариации): Cu (40,2) > Pb (35,8) > Zn (34,7) > Cd (31,3) > Co (29,2) > Ni (25,9) > Cr (23,0) > W (21,2) > V (19,8).

Согласно ГОСТ Р 54000–2100<sup>1</sup> сапропелевое сырье оз. Грязное, расположенного в Медвежьегорском районе Республики Карелия, по содержанию ТМ относится к сапропелю 1-го класса пригодности (табл. 2). Концентрации изученных загрязнителей в сапропеле оз. Грязное во много раз ниже содержания этих элементов в верхнем слое сапропеля карельского оз. Ламба, которое вследствие расположения в черте г. Петрозаводск претерпевает значительную антропогенную нагрузку [18]. Содержание таких ТМ, как Cu, V и Ni, в отложениях оз. Ламба выше аналогичных показателей в оз. Грязное в 34,7, 33,8 и 29,0 раз соответственно. По остальных металлам, кроме Mo, кратность превышения установлена в диапазоне от 2 до 13. Медианное содержание Mo в сапропеле оз. Грязное близко к концентрации этого элемента в сапропелях оз. Ламба в связи с увеличением содержания Mo до 12,4 мг/кг в самом нижнем слое сапропеля оз. Грязное. Это связано с влиянием ряда месторождений и проявлений молибденсодержащих руд, расположенных в непосредственной близости

<sup>1</sup> ГОСТ Р 54000–2010. Удобрения органические. Сапропели. Общие технические условия. М., 2011. 12 с.

к объекту исследования [28]. Но в целом обнаруженные концентрации Мо в сапропелевых илах оз. Грязное находятся ниже предельного содержания этого элемента для сапропелей, перспективных с точки зрения практического использования<sup>2</sup>.

Таблица 3. Корреляционная матрица тяжелых металлов в сапропеле оз. Грязное,

$$R_{кр} = 0,88 \text{ при } p < 0,01 \text{ и } R_{кр} = 0,75 \text{ при } p < 0,05$$

Table 3. The correlation matrix of heavy metals in sapropel of Gрязное Lake,

$$R_{cr} = 0,88 \text{ for } p < 0,01 \text{ and } R_{cr} = 0,75 \text{ for } p < 0,05$$

	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Mn	Mo	V
Ni	0,72	1,00								
Cu	0,75	0,97	1,00							
Zn	0,60	0,56	0,43	1,00						
Cd	-0,09	0,26	0,01	0,63	1,00					
Pb	-0,33	-0,10	-0,32	0,51	0,88	1,00				
Cr	0,84	0,96	0,96	0,64	0,14	-0,17	1,00			
Mn	0,10	0,34	0,13	0,75	0,89	0,88	0,29	1,00		
Mo	0,84	0,93	0,98	0,41	-0,10	-0,43	0,95	0,04	1,00	
V	0,91	0,78	0,87	0,46	-0,24	-0,45	0,90	-0,01	0,91	1,00
W	-0,59	-0,30	-0,49	0,13	0,71	0,90	-0,43	0,71	-0,59	-0,68

Примечание:  $R_{кр}$  – критические значения коэффициента корреляции для 95 % и 99 % уровня надежности ( $p$ ).

### Закключение

Таким образом, исследование колонки донных отложений оз. Грязное на глубину от 1,6 до 5,0 м позволило установить, что основную часть изученных озерных осадков составляет сапропель, относящийся к типу буро-коричневых сапропелей, которые широко распространены в районах Центральной и Западной Карелии. Содержание органического вещества исследованного сапропеля варьирует в диапазоне от 55,2 % до 70,2 % по всему разрезу. Актуальная кислотность (рН) сапропеля оз. Грязное соответствует слабокислой реакции – 6,52. Содержание и распределение тяжелых металлов в изученных осадках подчиняется преимущественно природным закономерностям, исключение могут составлять концентрации Рb, которые незначительно увеличиваются в верхней части разреза вследствие глобального загрязнения этим металлом. Однако в целом содержание изученных тяжелых металлов не превышает нормативных показателей, установленных для сапропелей 1-го класса пригодности, что является важным фактом в перспективе практического использования сапропеля оз. Грязного, имеющего выгодное инфраструктурное положение.

### Библиографический список

1. Каталог озер и рек Карелии / под ред. Н. Н. Филатова и А. В. Литвиненко. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2001. 290 с.
2. Синькевич Е. И., Экман И. М. Донные отложения озер Восточной части Фенноскандинавского кристаллического щита. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 1995. 177 с.
3. Гусев О. Н., Смирнова Н. М., Лискович А. Л., Клинецвич В. А., Большакова Л. Н., Соколова Л. М. Оценка состояния и перспективы развития минерально-сырьевой базы торфа и сапропеля на Северо-Западе Российской Федерации. Республика Карелия. СПб., 2000. 150 с.
4. Березовский Н. И., Крузо Б. В., Слыш В. М. Торфяные и сапропелевые месторождения. Минск : БНТУ, 2011. 49 с.
5. Ступникова Н. А., Мурадов С. В. Физико-химические и микробиологические исследования лечебной грязи месторождения озера Утиное Камчатской области // Вестник ДВО РАН. 2005. № 3. С. 76–82.
6. Avdeeva L. N., Kovalenko T. A. Removal of organic substances and metal ions from water using a carbon-mineral sapropel sorbent // Russian Journal of Applied Chemistry. 2012. V. 85, N 4. P. 557–563.
7. Курзо Б. В., Гайдукевич О. М., Кляуззе И. В., Зданович П. А. Особенности формирования вещественного состава сапропеля органического типа в озерах различных регионов Беларуси // Природопользование. 2012. № 21. С. 183–191.
8. Леонова Г. А., Бобров В. А., Богуш А. А., Кривоногов С. К. Микроэлементный состав поровых вод и сапропеля озера Духовое (Байкальский регион) // Минеральные индикаторы литогенеза : материалы Рос. совещ. с междунар. участием, Сыктывкар, 14–16 марта 2011 г. Сыктывкар, 2011. С. 78–81.
9. Stankevica K., Klavins M., Rutina L. Accumulation of metals in sapropel // Material Science and Applied Chemistry. 2012. V. 26. P. 99–105.

<sup>2</sup> ГОСТ Р 54000–2010. Удобрения органические. Сапропели. Общие технические условия. М., 2011. 12 с.



10. Савченко И. А. Химико-фармацевтическое исследование гуминовых веществ сапропеля озера Горчаково : автореф. дис. ... канд. фармацевт. наук. Омск, 2015. 22 с.
11. Кирейчева Л. В., Хохлова О. Б. Восстановление деградированной почвы сапропелем // *Аграрная наука*. 2004. № 5. С. 24–25.
12. Хлынина Н. Г. Использование сапропеля в качестве сорбента для очистки сточных вод : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2008. 24 с.
13. Кирейчева Л. В., Ильинский А. В., Яшин В. М., Нгуен С. Х. Детоксикация загрязненных тяжелыми металлами выщелоченных черноземных и древнеаллювиальных почв с использованием сорбционных материалов // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2009. № 3. С. 41–43.
14. Попов В. Е., Маслова К. М., Степина И. А. Влияние периодического увлажнения и высушивания на селективную сорбцию <sup>137</sup>Cs смесями почвы и органо-минерального сорбента // *Почвоведение*. 2013. № 11. С. 1357–1366.
15. Платонова Д. С., Масоров М. С., Адеев Л. Н. Сорбция меди гуминовыми кислотами из сапропеля Омской области // *Вестник Омского университета*. 2014. № 3. С. 47–50.
16. Минерально-сырьевая база Республики Карелия : в 2 кн. Кн. 2. Неметаллические полезные ископаемые. Подземные воды и лечебные грязи. Петрозаводск, 2006. 356 с.
17. Даувальтер В. А., Даувальтер М. В., Кашулин Н. А., Сандимиров С. С. Влияние выбросов горно-металлургического комбината на химический состав донных отложений озер (Мончегорский полигон) // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2010. № 2. С. 129–139.
18. Слукровский З. И., Медведев А. С. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях озер Четырехверстного и Ламбы (г. Петрозаводск, Республика Карелия) // *Экологическая химия*. 2015. № 1. С. 56–62.
19. Моисеенко Т. И., Даувальтер В. А., Ильяшук Б. П., Каган Л. Я., Ильяшук Е. А. Палеоэкологическая реконструкция антропогенной нагрузки // *ДАН*. 2000. Т. 370, № 1. С. 115–118.
20. Даувальтер В. А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск : МГТУ, 2012. 242 с.
21. Слукровский З. И., Светов С. А. Геохимические индикаторы техногенного загрязнения донных отложений малых рек в урбанизированной среде // *География и природные ресурсы*. 2016. № 1. С. 38–45.
22. Слукровский З. И., Бубнова Т. П. Химический состав фракции < 0,1 мм отложений реки Неглинка – индикатор загрязнения городского водотока // *Ученые записки Петрозаводского государственного университета*. 2013. № 4. С. 50–56.
23. Слукровский З. И. Эколого-геохимический анализ состояния донных отложений малых рек урбанизированных территорий (на примере г. Петрозаводск): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2014. 24 с.
24. Слукровский З. И. Нормирование по литию концентраций тяжелых металлов в донных отложениях озер Ладожское и Четырехверстное (Республика Карелия) // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2015. Т. 23, № 4. С. 397–408.
25. Nriagu J. O. The rise and fall of leaded gasoline // *Science of the Total Environment*. 1990. V. 92. P. 13–28.
26. Зилов Е. А. Химия окружающей среды. Иркутск : Иркут. ун-т, 2006. 148 с.
27. Komárek M., Ettler V., Chrastný V., Mihaljevi M. Lead isotopes in environmental sciences: A review // *Environ Int*. 2008. V. 34, N 4. P. 562–577.
28. Минерально-сырьевая база республики Карелия : в 2 кн. Кн. 1. Горючие полезные ископаемые. Металлические полезные ископаемые. Петрозаводск, 2006. 280 с.

## References

1. Katalog ozer i rek Karelii [Catalogue of lakes and rivers of Karelia] / pod red. N. N. Filatova i A. V. Litvinenko. Petrozavodsk : KarNTs RAN, 2001. 290 p.
2. Sinkevich E. I., Ekman I. M. Donnye otlozheniya ozer Vostochnoy chasti Fennoskandinavskogo kristallicheskogo schita [The sediments of lakes in the eastern Fennoscandian Shield]. Petrozavodsk : KarNTs RAN, 1995. 177 p.
3. Gusev O. N., Smirnova N. M., Liskovich A. L., Klintsevich V. A., Bolshakova L. N., Sokolova L. M. Otsenka sostoyaniya i perspektivy razvitiya mineralno-syrevooy bazy torfa i sapropelya na Severo-Zapade Rossiyskoy Federatsii [Assessment of the status and prospects of development of the mineral resource base of peat and sapropel on the North-West of the Russian Federation]. Respublika Kareliya. SPb., 2000. 150 p.
4. Berezovskiy N. I., Kruzo B. V., Slysh V. M. Torfyanye i sapropelevye mestorozhdeniya [Peat and sapropel deposits]. Minsk : BNTU, 2011. 49 p.
5. Stupnikova N. A., Muradov S. V. Fiziko-himicheskie i mikrobiologicheskie issledovaniya lechebnoy gryazi mestorozhdeniya ozera Utinoe Kamchatskoy oblasti [Physico-chemical and microbiological studies of therapeutic mud deposits Utinoe Lake, Kamchatka Oblast] // *Vestnik DVO RAN*. 2005. N 3. P. 76–82.

6. Avdeeva L. N., Kovalenko T. A. Removal of organic substances and metal ions from water using a carbon-mineral sapropel sorbent // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2012. V. 85, N 4. P. 557–563.
7. Kurzo B. V., Gaydukevich O. M., Klyauzze I. V., Zdanovich P. A. Osobennosti formirovaniya veschestvennogo sostava sapropelya organicheskogo tipa v ozerah razlichnyh regionov Belarusi [Features of the material structure formation of organic type sapropel in lakes of various regions of Belarus] // *Prirodopolzovanie*. 2012. N 21. P. 183–191.
8. Leonova G. A., Bobrov V. A., Bogush A. A., Krivonogov S. K. Mikroelementnyi sostav porovyh vod i sapropelya ozera Duhovoe (Baykalskiy region) [Trace element composition of sapropel and pore water from lake Dukhovoe (Baikal region)] // *Mineralnye indikatory litogeneza : materialy Ros. sovesch. s mezhdunar. uchastiem, Syktyvkar, 14–16 marta 2011 g. Syktyvkar, 2011. P. 78–81.*
9. Stankevica K., Klavins M., Rutina L. Accumulation of metals in sapropel // *Material Science and Applied Chemistry*. 2012. V. 26. P. 99–105.
10. Savchenko I. A. Himiko-farmatsevticheskoe issledovanie guminovyh veschestv sapropelya ozera Gorchakovo [Chemical and pharmaceutical study of humic substances sapropel of Gorchakovo Lake] : avtoref. dis. ... kand. farmatsevt. nauk. Omsk, 2015. 22 p.
11. Kireycheva L. V., Hohlova O. B. Vosstanovlenie degradirovannoy pochvy sapropelom [Restoring degraded soils by sapropel] // *Agrarnaya nauka*. 2004. N 5. P. 24–25.
12. Hlynina N. G. Ispolzovanie sapropelya v kachestve sorbenta dlya ochistki stochnyh vod [The use of sapropel as a sorbent for sewage treatment] : avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. Volgograd, 2008. 24 p.
13. Kireycheva L. V., Ilinskiy A. V., Yashin V. M., Nguen S. H. Detoksikatsiya zagryaznennyh tyazhelymi metallami vyschelochennyh chernozemnyh i drevneallyuvialnyh pochv s ispolzovaniem sorbtsionnyh materialov [Detoxification of contaminated with heavy metals leached chernozemic soil and ancient alluvial soils with sorption materials] // *Doklady Rossiyskoy akademii selskohozyaystvennyh nauk*. 2009. N 3. P. 41–43.
14. Popov V. E., Maslova K. M., Stepina I. A. Vliyanie periodicheskogo uvlazhneniya i vysushvaniya na selektivnuyu sorbtsiyu <sup>137</sup>Cs smesyami pochvy i organo-mineralnogo sorbenta [The impact of periodic wetting and drying on the selective sorption of <sup>137</sup>Cs soil mixtures and organic-mineral sorbent] // *Pochvovedenie*. 2013. N 11. P. 1357–1366.
15. Platonova D. S., Masorov M. S., Adeev L. N. Sorbtsiya medi guminovymi kislotami iz sapropelya Omskoy oblasti [Sorption of copper by humic acids of Omsk region sapropel] // *Vestnik Omskogo universiteta*. 2014. N 3. P. 47–50.
16. Mineralno-syrevaya baza Respubliki Kareliya [Mineral resources base of Republic of Karelia] : v 2 kn. Kn. 2. Nemetallicheskie poleznye iskopaemye. Podzemnye vody i lechebnye gryazi. Petrozavodsk, 2006. 356 p.
17. Dauvalter V. A., Dauvalter M. V., Kashulin N. A., Sandimirov S. S. Vliyanie vybrosov gornometallurgicheskogo kombinata na himicheskii sostav donnyh otlozheniy ozer (Monchegorskii poligon) [The influence of mining and smelting enterprise emissions on chemical composition of lacustrine bed deposits (the Monchegorsk site)] // *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya*. 2010. N 2. P. 129–139.
18. Slukovskii Z. I., Medvedev A. S. Soderzhanie tyazhelyh metallov i myshyaka v donnyh otlozheniyah ozer Chetyrehverstnogo i Lambyi (g. Petrozavodsk, Respublika Kareliya) [The content of heavy metals and arsenic into sediment of Chetyrehverstnoe and Lamba Lakes (Petrozavodsk, Karelia)] // *Ekologicheskaya himiya*. 2015. N 1. P. 56–62.
19. Moiseenko T. I., Dauvalter V. A., Ilyashuk B. P., Kagan L. Ya., Ilyashuk E. A. Paleoekologicheskaya rekonstruktsiya antropogennoy nagruzki [Paleoecological reconstruction of anthropogenic load] // *DAN*. 2000. V. 370, N 1. P. 115–118.
20. Dauvalter V. A. Geoekologiya donnyh otlozheniy ozer [Geoecology of lake bottoms sediments]. Murmansk : MGTU, 2012. 242 p.
21. Slukovskii Z. I., Svetov S. A. Geohimicheskie indikatory tehnogennoho zagryazneniya donnyh otlozheniy malyyh rek v urbanizirovannoy srede [Geochemical indicators of anthropogenic contamination of bottom sediments of small rivers in the urban environment] // *Geografiya i prirodnye resursy*. 2016. N 1. P. 38–45.
22. Slukovskii Z. I., Bubnova T. P. Himicheskii sostav fraktsii < 0,1 mm otlozheniy reki Neglinka – indikator zagryazneniya gorodskogo vodotoka [Fraction < 0,1 mm chemical composition of the Neglinka River sediments – contamination indicator of urban stream] // *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2013. N 4. P. 50–56.
23. Slukovskii Z. I. Ekologo-geohimicheskii analiz sostoyaniya donnyh otlozheniy malyyh rek urbanizirovannyh territoriy (na primere g. Petrozavodsk) [Ecological and geochemical analysis of the sediments of small rivers in urban areas (Petrozavodsk)] : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Petrozavodsk, 2014. 24 p.
24. Slukovskii Z. I. Normirovanie po litiyu kontsentratsiy tyazhelyh metallov v donnyh otlozheniyah ozer Ladozhskoe i Chetyrehverstnoe (Respublika Kareliya) [Rationing by lithium concentrations of heavy metals in the sediments of Lakes Ladoga and Chetyrehverstnoe (Republic of Karelia)] // *Himiya v interesah ustoychivogo razvitiya*. 2015. V. 23, N 4. P. 397–408.

25. Nriagu J. O. The rise and fall of leaded gasoline // *Science of the Total Environment*. 1990. V. 92. P. 13–28.
26. Zilov E. A. Himiya okruzhayushey sredy [Environmental Chemistry]. Irkutsk : Irkut. un-t, 2006. 148 p.
27. Komárek M., Ettler V., Chrástný V., Mihaljevi M. Lead isotopes in environmental sciences: A review // *Environ Int*. 2008. V. 34, N 4. P. 562–577.
28. Mineralno-syrevaya baza respubliky Kareliya [Mineral resources of Republic of Karelia] : v 2 kn. Kn. 1. Goryuchie poleznye iskopaemye. Metallicheskie poleznye iskopaemye. Petrozavodsk, 2006. 280 p.

#### **Сведения об авторах**

**Слуковский Захар Иванович** – ул. Пушкинская, 11, г. Петрозаводск, Россия, 185910; Институт геологии КарНЦ РАН, канд. биол. наук, науч. сотрудник; e-mail: slukovsky87@gmail.com

**Slukovskii Z. I.** – 11, Pushkinskaya Str., Petrozavodsk, Russia, 185910; Institute of Geology KarSC RAS, Cand. of Biol. Sci., Researcher; e-mail: slukovsky87@gmail.com

**Медведев Александр Сергеевич** – ул. Пушкинская, 11, г. Петрозаводск, Россия, 185910; Институт геологии КарНЦ РАН, мл. науч. сотрудник; e-mail: sanjam22@mail.ru

**Medvedev A. S.** – 11, Pushkinskaya Str., Petrozavodsk, Russia, 185910; Institute of Geology KarSC RAS, Junior Researcher; e-mail: sanjam22@mail.ru

**Бубнова Татьяна Петровна** – ул. Пушкинская, 11, г. Петрозаводск, Россия, 185910; Институт геологии КарНЦ РАН, науч. сотрудник; e-mail: bubnova@krc.karelia.ru

**Bubnova T. P.** – 11, Pushkinskaya Str., Petrozavodsk, Russia, 185910; Institute of Geology KarSC RAS, Researcher; e-mail: bubnova@krc.karelia.ru

**Сыроежко Евгений Владимирович** – пр. Ленина, 33, г. Петрозаводск, Россия, 185910; Петрозаводский государственный университет, студент; e-mail: siroezhko.evgeny@yandex.ru

**Siroezhko E. V.** – 33, Lenina Avenue, Petrozavodsk, Russia, 185910; Petrozavodsk State University, Student; e-mail: siroezhko.evgeny@yandex.ru

Z. I. Slukovskii, A. S. Medvedev, T. P. Bubnova, E. V. Siroezhko

**Accumulation and vertical distribution of heavy metals  
in sapropel of Gryaznoe Lake (Medvezh'egorsk district,  
Republic of Karelia)**

The results of studying sapropel sediments and clay underlying sapropel of Gryaznoe Lake (the Medvezh'egorsk district, Republic of Karelia) have been considered. Analysis of the small stock published literature and fund sources on reserves and quality of sapropel of this region gives an indication of the importance of studying this type of natural resources. This research focuses on studying heavy metal content in the sapropel to assess the ecological status of the water body and the prospect of using its sapropel deposits for practical purposes. The modern precision methods of research material have been used. The chemical analysis of the sediments of Gryaznoe Lake has been measured using X-ray fluorescence spectrometer ARL ADVANT'X and mass spectrometer XSeries-2 ICP-MS, and the particle-size distribution of the lake sediments has been determined using the multifunction particles' analyzer LS13 Series 320. Thus the results of studying particle-size distribution and content of the major components of Gryaznoe Lake as well as basic correlation patterns calculated from the data have been given. The studied sediments' column of this lake is 3,4 m, where the thickness of the sapropel layer is 3,1 m. The content of organic substance of sapropel of Gryaznoe Lake is from 55,2 to 70,2 %. According to the literature the studied sapropel sediments comply for the type of reddish-brown sapropels widespread in Karelia and suitable to various kinds of practical use. The content of heavy metals in entire thickness of sapropel of the lake does not exceed the established norms. A comparison of levels of heavy metals' accumulation in the sediments of Gryaznoe Lake and Lamba Lake located within the city of Petrozavodsk has been carried out. The negative impact of human activities on the urban areas on the deterioration of useful properties of sapropel deposits of small Karelian lakes has been clearly illustrated.

**Key words:** sapropel, heavy metals, organic matter, particle-size distribution, vertical distribution of trace elements in lake sediments.