

СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ БЕЛАРУСИ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА

Б. П. ВЛАСОВ¹⁾, Н. В. ЖУКОВСКАЯ¹⁾, Н. В. КОВАЛЬЧИК¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Проанализировано накопление микроэлементов (Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Mo, Pb) в современных донных отложениях водоемов и водотоков Беларуси в местах произрастания высшей водной растительности по данным мониторинга окружающей среды за 2000–2015 гг. Отмечается, что распределение большинства изучаемых элементов (Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Pb) в донных осадках озер и рек подчиняется логарифмически нормальному закону распределения. Выявлены озера с аномальными концентрациями Ni, V, Cu, Cr, Pb в донных отложениях. Сделан вывод о том, что для таких исследуемых элементов, как Ti, Cr, Mn, Cu, пространственное распределение содержания металлов в донных отложениях озер носит случайный характер. В отношении Pb обнаружен кластер высоких значений на севере Беларуси (озера Освейское, Бредно, Белое, Моховое). Установлено, что в донных отложениях рек средние концентрации V, Cr, Mn, Ni выше, чем в озерах. С помощью метода главных компонент выделены ассоциации химических элементов в донных отложениях рек и озер: элементы первой ассоциации (V, Cr, Ni, Cu, Pb) концентрируются преимущественно в тонких фракциях; Ti является малоподвижным элементом в большинстве геохимических обстановок и образует отдельную группу в донных отложениях как рек, так и озер; Mn формирует отдельную ассоциацию в донных отложениях озер, что может быть связано с преобладающими формами его нахождения.

Ключевые слова: микроэлементы; донные отложения; мониторинг; аномальные концентрации; ассоциации химических элементов; пространственные закономерности.

TRACE ELEMENTS CONTENTS IN BELARUSIAN RESERVOIRS AND RIVERS BOTTOM SEDIMENTS ACCORDING TO MONITORING

B. P. VLASOV^a, N. V. ZHUKOVSKAYA^a, N. V. KAVALCHYK^a

^aBelarusian State University, Niezaliežnasci Avenue, 4, 220030, Minsk, Belarus

Corresponding author: N. V. Zhukovskaya (natazhuk@gmail.com)

The trace elements (Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Mo, Pb) accumulation in modern bottom sediments of Belarusian reservoirs and rivers in the places of higher aquatic vegetation growing has been analyzed on monitoring data for the period of 2000–2015 years. The distribution of the studied elements majority (Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Pb) in the reservoir bottom sediments obeys lognormal law distribution. The lakes with the anomalous concentrations of Ni, V, Cu, Cr, Pb in the bottom

Образец цитирования:

Власов Б. П., Жуковская Н. В., Ковальчик Н. В. Содержание микроэлементов в донных отложениях водоемов и водотоков Беларуси по данным мониторинга // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. № 2. С. 152–162.

For citation:

Vlasov B. P., Zhukovskaya N. V., Kavalchik N. V. Trace elements contents in Belarusian reservoirs and rivers bottom sediments according to monitoring. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2017. No. 2. P. 152–162 (in Russ.).

Авторы:

Борис Павлович Власов – доктор географических наук, профессор; заведующий научно-исследовательской лабораторией озераведения географического факультета.

Наталья Викторовна Жуковская – старший преподаватель кафедры почвоведения и земельных информационных систем географического факультета.

Надежда Владимировна Ковальчик – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры почвоведения и земельных информационных систем географического факультета.

Authors:

Boris Vlasov, doctor of science (geography), full professor; head of the scientific research laboratory of lakes, faculty of geography.

vlasov@bsu.by

Natallia Zhukovskaya, senior lecturer at the department of the soil sciences and land information systems, faculty of geography. *natazhuk@gmail.com*

Nadzeya Kavalchik, PhD (geography), docent; associate professor at the department of the soil science and land information systems, faculty of geography. *kovalchiknv@gmail.com*

sediments have been identified. The spatial distribution of Ti, Cr, Mn, Cu in the reservoirs bottom sediments is random. For Pb a cluster of high values in the North of Belarus (Osveiskoe, Bredno, Beloe and Mokhovoe lakes) has been revealed. The mean concentrations of V, Cr, Mn, Ni in the rivers bottom sediments are higher than in the reservoirs bottom sediments. The elements associations in the bottom sediments of reservoir and rivers have been identified by using principal component analysis. The elements of the first association (V, Cr, Ni, Cu, Pb) are concentrated mainly in the fine fractions. Ti is a slightly mobile element in most geochemical situations and forms a separate group as well in rivers bottom sediments as in lakes bottom sediments. Mn makes up the separate association that can be explained by manganese forms in the lakes sediments.

Key words: trace elements; bottom sediment; monitoring; anomalous concentration; chemical elements associations; spatial patterns.

В последние десятилетия многие авторы обращались к проблеме индикаторной роли донных отложений и высшей водной растительности в оценке загрязнения водных экосистем. Современные донные осадки рассматриваются как депонирующая среда для микроэлементов, накопление которых связано с изменением механических, физико-химических и биологических условий седиментации, а также поступлением техногенных веществ. Формирование микроэлементного состава осадков водоемов определяется ландшафтной структурой и освоенностью водосбора, литолого-петрографическими и геохимическими особенностями его пород, уровнем продукционно-деструкционных процессов в озере, его морфометрическими параметрами, т. е. всеми факторами, контролирующими седиментацию органического и минерального веществ [1]. Загрязняющие компоненты поступают в водные системы в растворенной форме в виде взвешенных частиц с локальными сбросами, а также в составе стока с водосборных территорий. Анализ накопления микроэлементов в донных осадках водоемов и водотоков позволяет повысить информативность данных мониторинговых исследований.

Перечень изучаемых микроэлементов определен с учетом их ассоциаций, наиболее распространенных в донных осадках и тканях высших водных растений. Это элементы V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb и Ti, в основном относящиеся к тяжелым металлам, обладающим специфическими биогеохимическими свойствами: высокой биохимической активностью, токсичностью, канцерогенностью, тенденцией к биоконцентрированию, склонностью к гидролизу [2].

Методика исследования

Микроэлементный состав современных донных отложений в местах произрастания высшей водной растительности анализировался по данным мониторинга окружающей среды за 2000–2015 гг. Наблюдательная сеть включает в себя репрезентативные с точки зрения природных условий, а также фонового статуса или вида техногенного воздействия озера, водохранилища и реки (рис. 1):

- 46 ключевых участков (КУ) на озерах;
- 4 КУ на водохранилищах;
- 47 КУ на реках.

Опробованные озера отличаются генетическим типом, характером донных отложений и степенью зарастания. Донные отложения, служащие субстратом произрастания макрофитов, представлены в основном в литорали песками и песками заиленными, глубже – илами опесчаненными. Объекты на реках определены на основе бассейнового подхода, в том числе учитывались те из них, которые расположены на участках, испытывающих воздействие городов и промышленных предприятий различных типов. Пробы донных отложений отбирались из ненарушенного верхнего неконсолидированного слоя осадков (пелогена), мощность которых приближается к годовому слою осадков (не более 1–2 см) [3]. Проанализировано около 195 проб. Исследование валового содержания элементов производилось методом эмиссионного спектрального анализа (ЭСА) на приборе PGS-2 по методике [4]. Нижний предел обнаружения элементов составляет (мг/кг): Ti – 1; V – 10; Cr – 5; Mn – 10; Ni – 8; Cu – 1; Zn – 100; Pb – 5. Содержание элементов пересчитывалось на абсолютно сухое вещество.

Статистическая обработка данных включала в себя оценку распределения переменных с помощью гистограмм, вероятностных графиков и критериев согласия (Колмогорова – Смирнова, Шапиро – Уилка), вычисление дескриптивных статистик, непараметрический дисперсионный анализ Краскела – Уоллиса, корреляционный и факторный анализы. В случае усеченных выборок при доле проб с содержанием определяемого элемента выше предела обнаружения более 50 % в качестве среднего использовалась медиана.

Для приведения данных к нормальному закону распределения использовались логарифмирование при логнормальном распределении и извлечение квадратного корня при γ -распределении. Подобные преобразования позволяют нормализовать выборки и применять при анализе параметрические методы. Пригодность собранных данных для факторного анализа оценивалась с помощью тестов Кайзера – Мейера – Олкина (КМО) и сферичности Бартлетта. Факторный анализ выполнялся на основе корреляционной матрицы методом главных компонент с последующим варимакс-вращением. Статистический анализ осуществлялся с использованием программных пакетов Statistica 8.0 и SPSS 17.0.

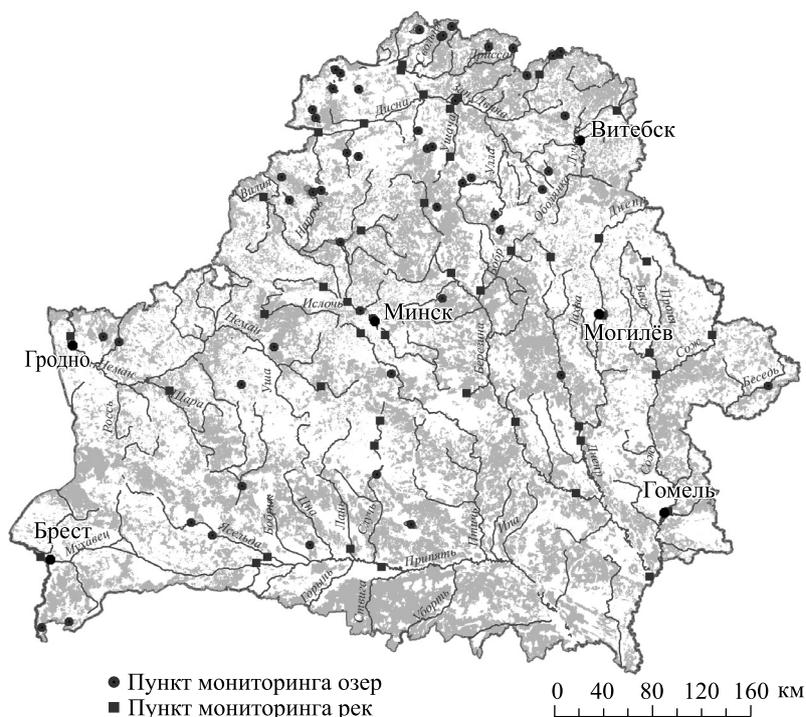


Рис. 1. Расположение пунктов мониторинга водоемов и водотоков Беларуси
Fig. 1. Location of reservoirs and rivers monitoring sites within of Belarus

Результаты исследования и их обсуждение

Донные отложения озер. Основные статистические параметры, характеризующие распределение содержания микроэлементов в современных донных отложениях озер Беларуси, представлены в табл. 1. Распределение большинства изучаемых элементов (Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Pb) подчиняется логарифмически нормальному закону распределения. Частота встречаемости Zn составляет 81 %, Mo – 80 %.

Таблица 1

Статистические параметры содержания микроэлементов в донных отложениях озер Беларуси, мг/кг сухого вещества ($n = 124$)

Table 1

Descriptive statistics of trace elements concentrations in lakes bottom sediments of Belarus, mg/kg DW ($n = 124$)

Элемент	\bar{x} (пределы вариации)	σ	s_x
Ti	1051 _g (24,2–9939)/6,96ln	1,19ln	0,107ln
V	13,1 _g (0,41–111,8)/2,57ln	1,045ln	0,094ln
Cr	13,8 _g (0,97–149,1)/4,93ln10 x_i	1,31ln10 x_i	0,117ln10 x_i
Mn	375 _g (19,8–6934)/5,93ln	1,0ln	0,09ln
Ni	5,33 _g (0,45–52,2)/3,98ln10 x_i	1,07ln10 x_i	0,096ln10 x_i
Cu	8,14 _g (0,99–142,7)/4,40ln10 x_i	0,800ln10 x_i	0,072ln10 x_i
Zn	29,9 (н. о. – 524,0)	–	–
Mo	0,97 (н. о. – 5,24)	–	–
Pb	18,3 _g (0,99–199,2)/2,91ln	0,854ln	0,077ln

Примечание. \bar{x} – среднее арифметическое; \bar{x}_g – среднее геометрическое; σ – стандартное отклонение; s_x – ошибка среднего; x_i – элемент выборки; $\bar{x}_{\ln(10x_i)}$ – рассчитано по логарифмированным данным; н. о. – ниже предела чувствительности метода определения.

Пункты опробования с аномальным содержанием изучаемых химических элементов были обнаружены с помощью диаграмм размаха (*box plot*). Согласно [5] данный способ наиболее эффективен при выявлении аномальных значений, в случае если их число не превышает 10 %. График *box plot* показывает медиану, нижний и верхний квартили, минимальное и максимальное значения выборки и выбросы (рис. 2). Выбросами считаются значения, превышающие величину 1,5 межквартильного размаха.

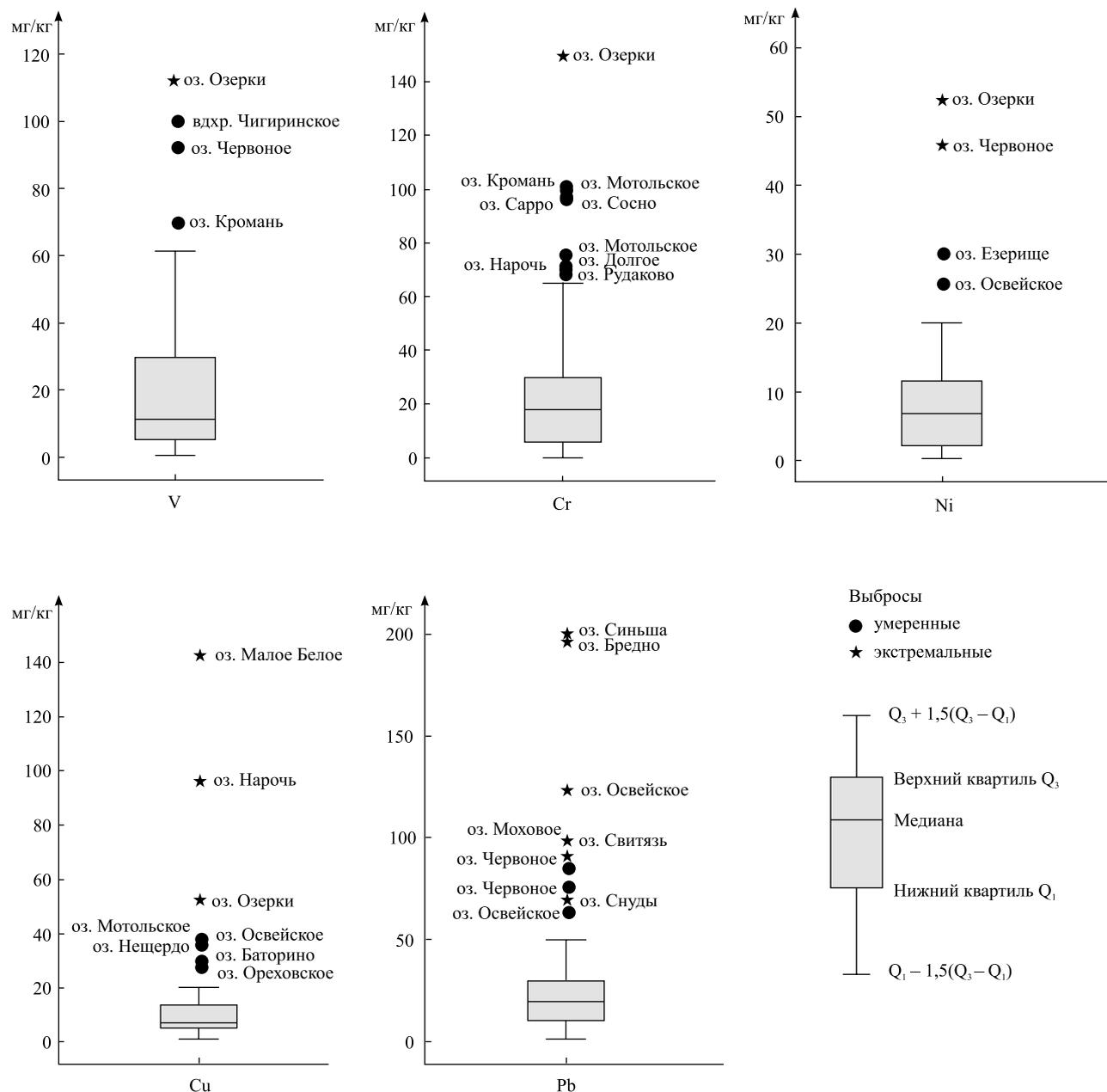


Рис. 2. Диаграммы размаха V, Cr, Ni, Cu, Pb в донных отложениях озер Беларуси
Fig. 2. Box-plot of V, Cr, Ni, Cu, Pb distributions in lakes bottom sediments of Belarus

Установлены озера, для донных отложений которых в наибольшей степени характерно проявление аномальной концентрации¹ ряда тяжелых металлов (рис. 3). Так, оз. Озерки выделяется аномальным содержанием Ni, V, Cu и Cr. В донных отложениях оз. Червоное выявлена аномальная концентрация следующих элементов: Ni – 8,61, V – 7,0, Pb – 3,5–5,0; оз. Освейское: Pb – 6,7, Ni – 4,9, Cu – 4,5; оз. Синьша: Pb – 10,8, Cr – 5,0; оз. Мотольское: Cr – 17,1, Cu – 14,6; оз. Нарочь: Cu – 11,8, Cr – 4,9 и т. д.

¹Коэффициент концентрации рассчитывался как отношение содержания элемента в объекте к среднему содержанию элемента в донных отложениях озер Беларуси в целом.

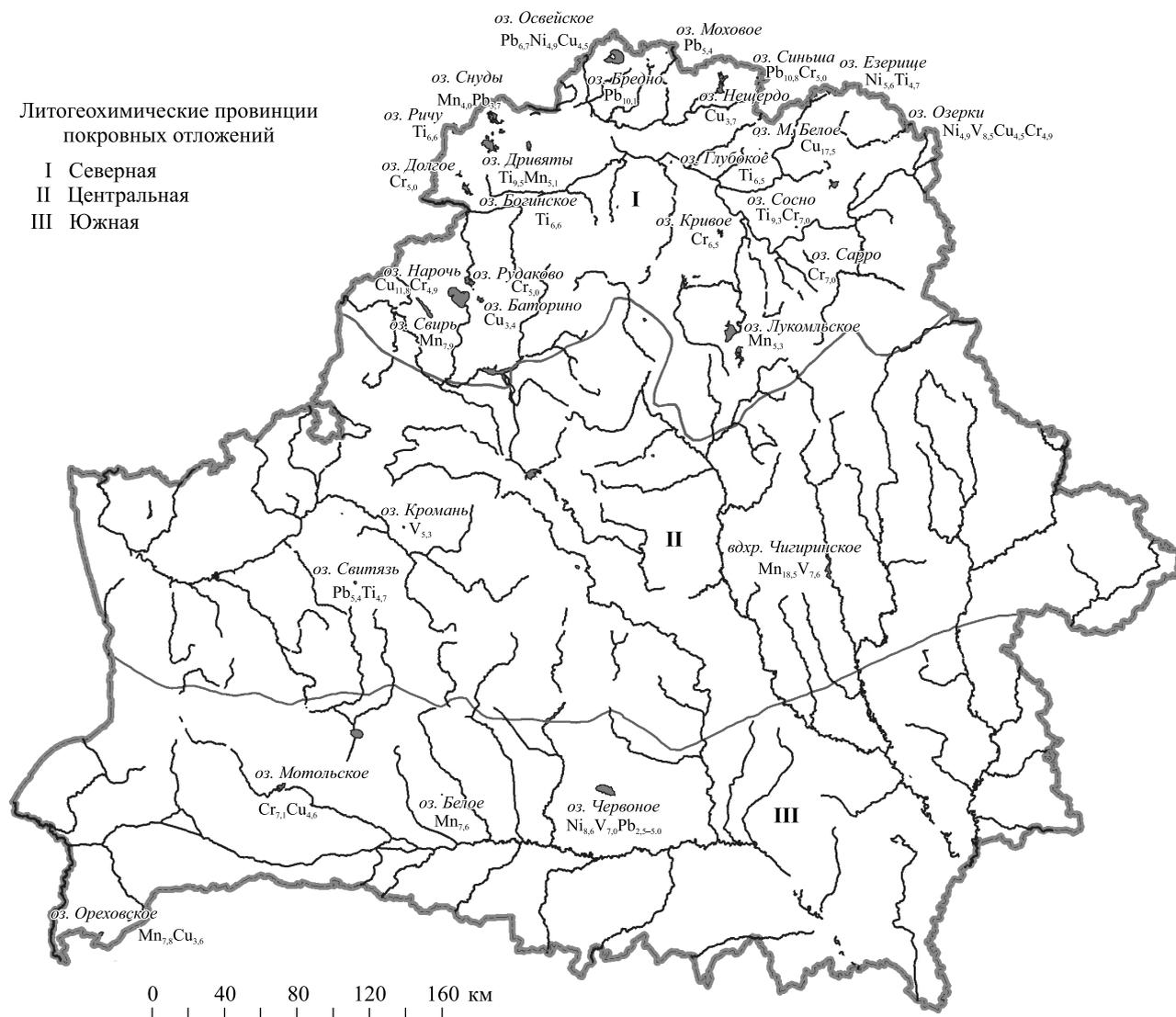


Рис. 3. Аномальное содержание химических элементов в донных отложениях озер Беларуси

Fig. 3. Anomalous content of chemical elements in Belarusian lakes bottom sediments

Пространственные закономерности (пространственные выбросы и кластеры объектов с высокими и низкими значениями) содержания исследуемых металлов в донных отложениях озер были проанализированы в среде ArcGIS на основе статистического показателя – локального индекса Морана I [6]. Для таких элементов, как Ti, Cr, Mn и Cu, пространственное распределение носит случайный характер. В отношении Pb выявлен кластер высоких значений на севере Беларуси (озера Освейское, Бредно, Белое и Моховое). Концентрация Pb в донных отложениях составляет 45–74 мг/кг.

Анализ статистических связей между содержанием химических элементов в донных отложениях озер показал, что большинство элементов объединены положительными корреляционными связями (табл. 2). Наибольшие корреляции ($r > 0,7$) характерны для Ni — Cr и Cu — Ni.

Пригодность данных для факторного анализа подтверждается достаточным результатом теста Кайзера – Мейера – Олкина (0,773) и значимым уровнем теста сферичности Бартлетта ($\chi^2 = 459$; $df = 21$; $p < 0,001$). В результате факторного анализа выделены три главных компонента (фактора), объясняющих 82 % общей дисперсии.

С первым из них, описывающим 54 % общей дисперсии, положительно связано содержание Ni, Cu, Cr и V (табл. 3, рис. 4). Данные элементы концентрируются преимущественно в тонких фракциях, содержание которых, по-видимому, и отражает фактор 1.

Второй главный компонент (фактор 2) учитывает 17 % общей дисперсии и отражает поведение Mn. Установлено [1; 7; 8], что основными соединениями Mn в пресноводных отложениях являются его

оксиды и карбонаты. Содержание органического Mn (связанного с органическим веществом), как и силикатного (связанного с глинами), в донных отложениях обычно невелико [7]. Данный факт и обуславливает его выделение в самостоятельную ассоциацию.

Таблица 2

Статистические связи между концентрациями химических элементов в донных отложениях озер ($n = 124$)

Table 2

Pearson correlation matrix for trace elements in lakes bottom sediments ($n = 124$)

Элемент	Коэффициент концентрации					
	V	Cr	Mn	Ni	Cu	Pb
Ti	0,433	0,387	0,267	0,307	<i>0,191</i>	0,462
V		0,387	0,585	0,575	0,476	0,541
Cr			<i>0,136</i>	0,847	0,663	0,443
Mn				<i>0,228</i>	<i>0,129</i>	0,322
Ni					0,718	0,510
Cu						0,469

Примечание. Полу жирным курсивом отмечены статистически значимые коэффициенты корреляции при $p = 0,01$; курсивом – при $p = 0,05$.

Таблица 3

Ассоциации химических элементов в донных отложениях озер и рек

Table 3

Trace elements associations in lakes and rivers bottom sediments

Тип осадков	$n(r_{0,01})$	Фактор	Вес фактора, %	Общая дисперсия, %	Ассоциации
Донные отложения озер	124 (0,23)	F1	54	82	$Ni_{0,90} - Cu_{0,88} - Cr_{0,87} - (V_{0,49})$
		F2	17		$Mn_{0,95} - V_{0,68}$
		F3	11		$Ti_{0,94} - (Pb_{0,47})$
Донные отложения рек	72 (0,145)	F1	58	74	$Ni_{0,88} - Cr_{0,85} - V_{0,85} - Cu_{0,85} - Mn_{0,73} - Pb_{0,71}$
		F2	16		$Ti_{0,96} - (Pb_{0,43})$

Примечание. $n(r_{0,01})$ – объем выборки (критическое значение коэффициента корреляции r Пирсона при уровне значимости $\alpha = 0,01$); химические элементы в круглых скобках связаны более чем с одним фактором; нижний индекс после символа химического элемента – нагрузка на фактор.

Третий главный компонент (11 % общей дисперсии) характеризуется высокими нагрузками Ti. Элемент является малоподвижным в большинстве геохимических обстановок. Главные минералы – носители Ti (рутил, ильменит) устойчивы к выветриванию и концентрируются преимущественно в песчаных и алевритовых фракциях.

Донные отложения рек. Основные статистические параметры, характеризующие распределение микроэлементов в донных отложениях рек Беларуси, представлены в табл. 4. Частота встречаемости Zn составляет 93 %, Mo – 71 %. По сравнению с донными отложениями озер (см. табл. 1) установлена значительно более высокая концентрация V, Cr, Mn и Ni.

Изучение распределения химических элементов в донных отложениях рек с помощью диаграмм размаха (*box plot*) позволило выявить их аномальную концентрацию (рис. 5). Так, к аномальным отнесены значения содержания Ti > 6625 мг/кг; Cr > 198 мг/кг; Mn > 4558 мг/кг; Ni > 46 мг/кг; Cu > 43 мг/кг; Pb > 37 мг/кг.

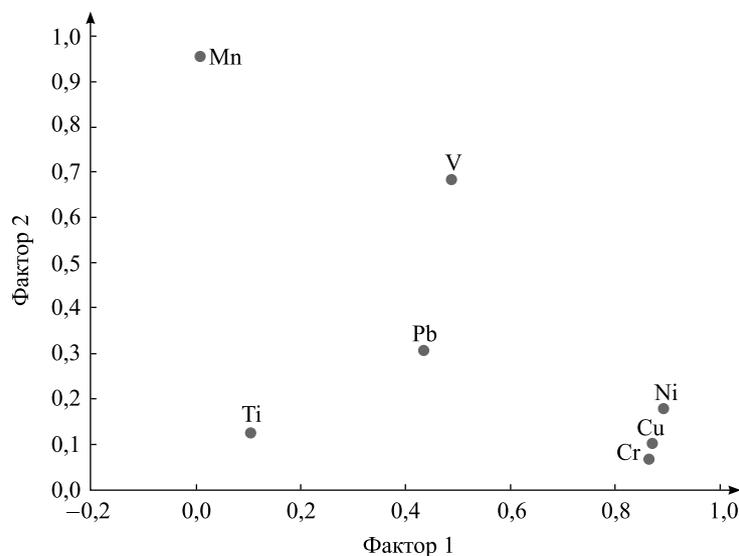


Рис. 4. График факторных нагрузок в проекции на плоскость факторного пространства, задаваемого осями факторов 1 и 2

Fig. 4. Principal component analysis loading plot (PC1 vs. PC2) for trace elements in lake bottom sediments

Таблица 4

Статистические параметры содержания элементов в донных отложениях рек, мг/кг сухого вещества ($n = 72$)

Table 4

Descriptive statistics of trace elements concentrations in rivers bottom sediments, mg/kg DW ($n = 72$)

Элемент	\bar{x} (пределы вариации)	σ	s_x
Ti	1515 _g (73,5–8785)/7,32ln	0,86ln	0,108ln
V	22,0 _g (2,91–98,8)/3,09ln	0,895ln	0,107ln
Cr	29,5 _g (0,98–284,6)/3,39ln	1,31ln	0,16ln
Mn	713 _g (69,3–9960)/6,57ln	1,12ln	0,134ln
Ni	9,76 _g (0,95–199,2)/4,58ln10 x_i	1,15ln10 x_i	0,138ln10 x_i
Cu	10,8 _g (1,47–99,0)/2,38ln	0,902ln	0,108ln
Zn	29,7 (н. о. – 867,0)	–	–
Mo	0,96 (н. о. – 9,83)	–	–
Pb	16,9 _g (2,21–86,7)/2,83ln	0,757ln	0,091ln

Донные отложения рек с аномальным содержанием элементов выявлены как в пунктах, расположенных в зонах техногенного воздействия, так и на фоновых участках (рис. 6). Так, в донных отложениях р. Днепр обнаружена аномальная концентрация следующих элементов (коэффициент концентрации): Cr – 6,7, Pb – 2,9, Cu – 6,5 (КУ в Могилёве) и Ni – 4,7, Pb – 3,8, Cu – 4,0 (КУ в Лоеве); р. Сож: Ni – 4,4, Pb – 5,1, Cu – 4,0 (КУ в Гомеле); р. Неман: Ni – 4,9, Mn – 6,8, Pb – 2,9 (КУ в Столбцах). Максимальная концентрация Ni (199 мг/кг) и Mn (6958–9960 мг/кг) установлена в донных отложениях р. Вилии (КУ в д. Михалишки) и р. Щары (КУ в д. Большая Воля).

Исследование взаимосвязей элементов на основе факторного анализа позволило выделить две их основные ассоциации в современных донных отложениях рек Беларуси (см. табл. 3). Первую ассоциацию образуют Ni, Cr, V, Cu, Mn и Pb, вторая определяет варьирование Ti и в меньшей степени Pb. По сравнению с ассоциациями в донных отложениях озёр Mn не образует отдельной группы. Однако предлагаемая факторная модель объясняет лишь 55 % дисперсии Mn.

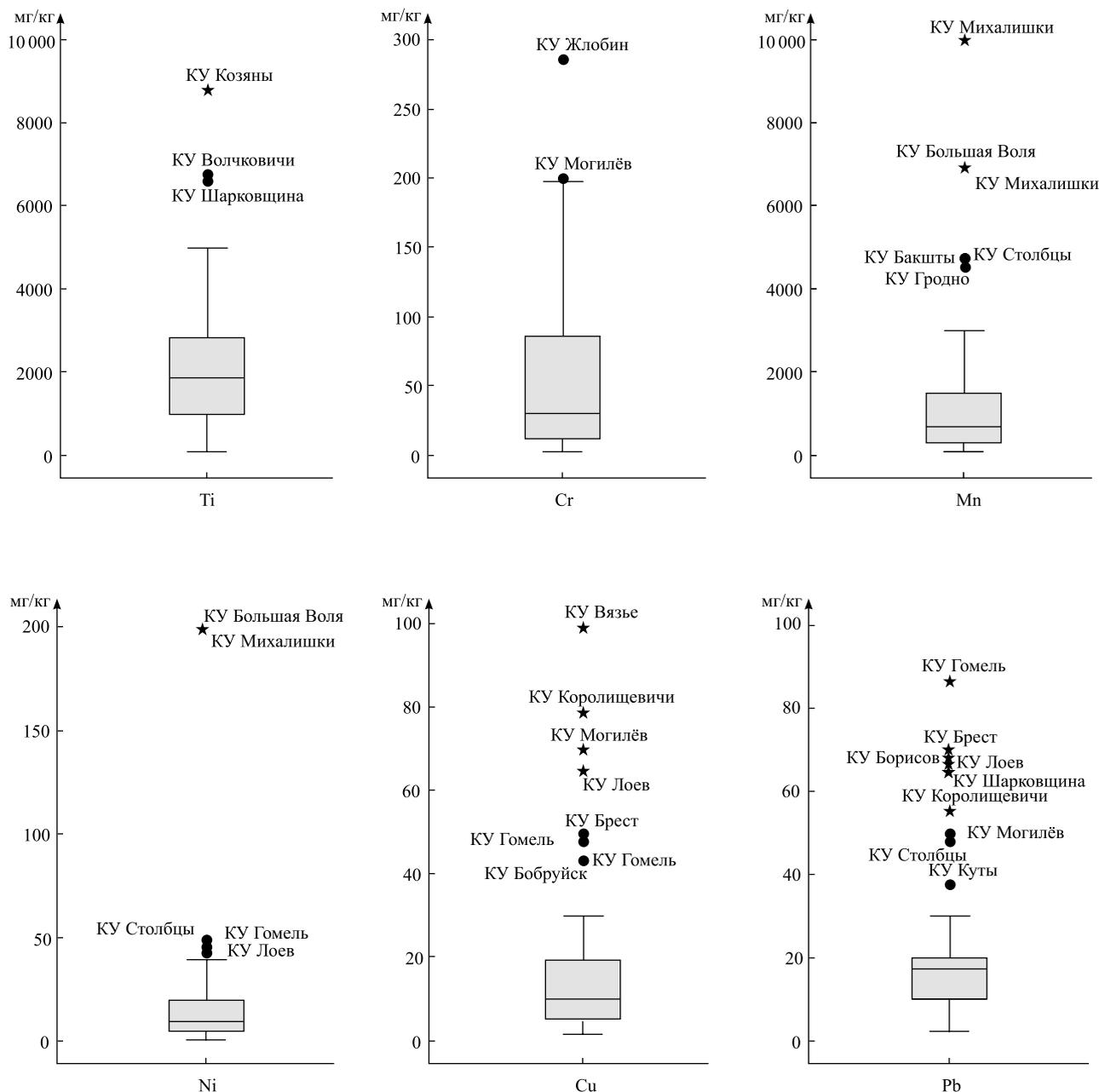


Рис. 5. Диаграммы размаха Ti, Cr, Mn, Ni, Cu, Pb в донных отложениях рек Беларуси
Fig. 5. Box-plot of Ti, Cr, Mn, Ni, Cu, Pb distributions in rivers bottom sediments of Belarus

Состав и структура ассоциаций, выделенных в донных отложениях рек, в целом соответствуют природным ассоциациям элементов в дерново-подзолистых почвах национальных парков «Нарочанский» и «Браславские озера» [9].

Для пород и почв водосборных территорий Беларуси характерно содержание микроэлементов ниже кларковых значений. Так, почвы Беларуси обеднены титаном, марганцем, ванадием, медью и никелем примерно в три раза, хромом – в два раза, содержание свинца сопоставимо с кларком [10]. В донных отложениях исследуемые элементы накапливаются в меньшей концентрации, чем в почвах, за исключением Mn и Pb. Как видно из табл. 5, среднее содержание микроэлементов в донных отложениях озер и рек Беларуси, по данным мониторинга, в основном сопоставимо со значениями, приведенными в работах других авторов [11; 12]. Расхождения обусловлены характеристиками выборки (количество проб, их соотношение по типу осадков и охвату литогеохимических провинций), различиями в методиках отбора (глубина опробования, тип осадка), большой вариабельностью значений (см. табл. 1 и 4).

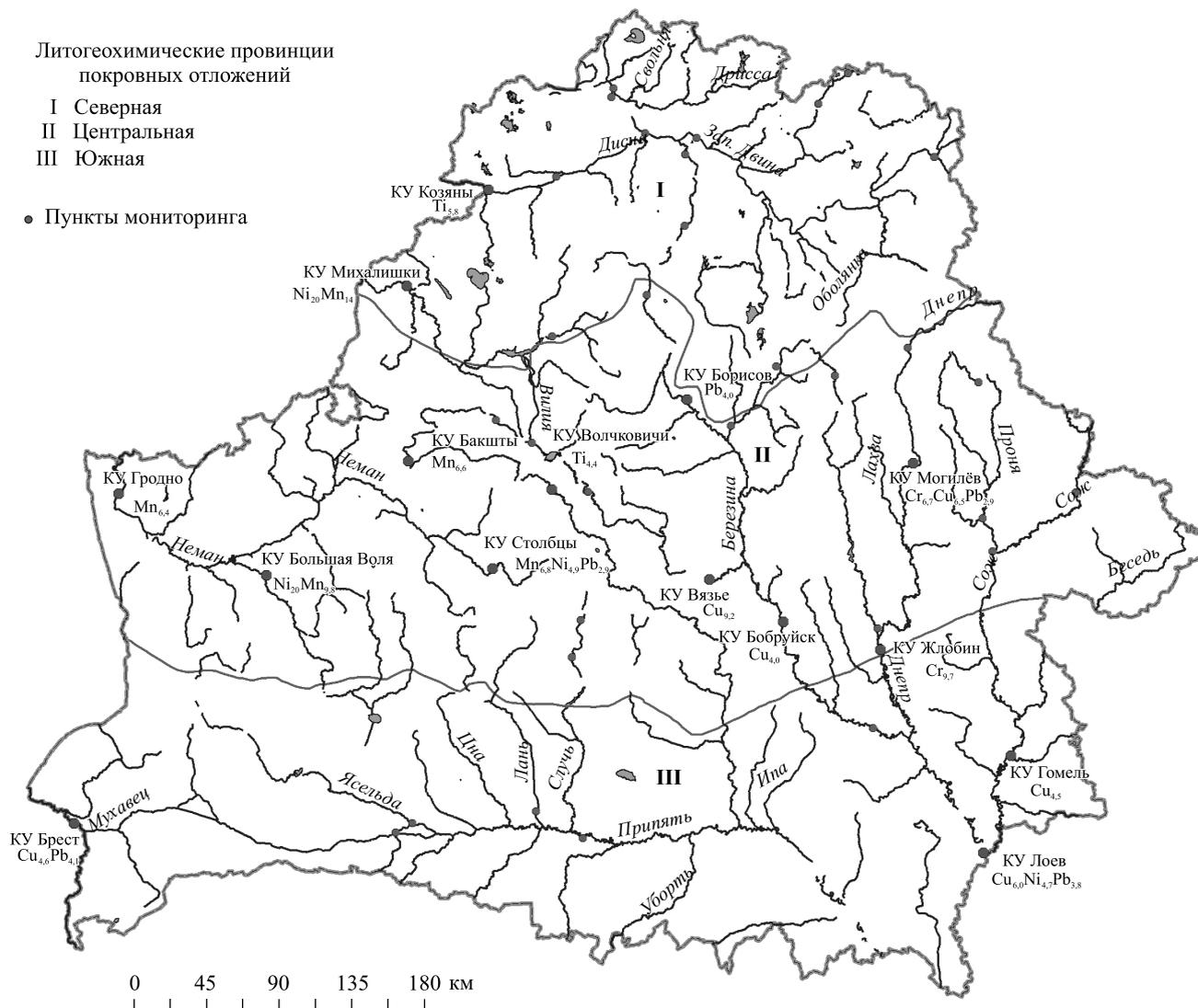


Рис. 6. Аномальное содержание химических элементов в донных отложениях рек Беларуси
Fig. 6. Anomalous content of chemical elements in Belarusian rivers bottom sediments

Таблица 5

Среднее содержание химических элементов в донных осадках водоемов
и водотоков Беларуси по данным разных источников, мг/кг сухого вещества

Table 5

Average content of chemical elements in bottom sediments of Belarusian lakes
and rivers according to different sources, mg/kg DW

Осадки	Источник данных	Ti	V	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Mo	Pb
Донные отложения озер	По данным мониторинга	1051,0	13,1	13,8	375,0	5,33	8,14	29,9	0,97	18,3
Донные отложения рек	По данным мониторинга	1515,0	22,0	29,5	713,0	9,76	10,8	29,7	0,96	16,9
Озерные осадки северной Беларуси	[1]	840,0	23,0	16,0	820,0	10,0	17,0	–	–	8,0
Донные отложения озер	[11]	2617,0	19,3	14,6	768,8	4,6	7,24	51,1	–	21,9
Донные отложения рек	[12]	1021,0	19,0	16,7	384,0	14,8	14,1	–	–	16,0
Почвы Беларуси	[9]	1562,0	34,0	36,0	247,0	20,0	13,0	–	–	12,0

Согласно [1] современное осадкообразование на территории Беларуси испытывает на себе антропогенное влияние: по причине сельскохозяйственно-мелиоративного использования земель увеличивается поступление с водосбора терригенного материала (в основном – глинистого), с которым связаны Ti, Mn, Zn, Cr, V и Pb. В результате органоминерального взаимодействия возрастает геохимическая подвижность Mn, Cu и Zn. Воздействие локальных техногенных источников стало причиной выявленной аномальной концентрации Pb, Ni, Cu и Cr, что согласуется с данными [12].

Среднее содержание большинства микроэлементов в донных осадках Беларуси в два-три раза ниже среднеевропейского, концентрация Pb близка к нему (табл. 6). Для Cr, Ni, Cu, Zn и Pb средние значения в донных осадках Беларуси сопоставимы с данными, характеризующими водоемы Литвы, Латвии и Польши.

Таблица 6

**Среднее содержание химических элементов в донных осадках
различных районов, мг/кг сухого вещества**

Table 6

Average content of chemical elements in bottom sediments of different regions, mg/kg DW

Тип осадков	Регион	Ti	V	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Mo	Pb
Донные отложения озер	Беларусь	1051,0	13,1	13,8	375,0	5,33	8,14	29,9	0,97	18,3
Донные отложения рек	Беларусь	1515,0	22,0	29,5	713,0	9,76	10,8	29,7	0,96	16,9
Донные отложения рек	Европа [13]	3750,0	62,0	92,8	868,0	21,0	17,0	71,0	1,34	20,5
Донные отложения водоемов и водотоков	Польша [14]	31,0	7,0	6,0	255,0	6,0	7,0	7,0	–	13,0
Донные отложения озер	Литва [15]	–	–	23,0	–	11,3	9,8	50,2	–	17,1
Донные отложения озер	Латвия [16]	–	–	23,9	–	17,4	14,7	78,5	–	20,1

Таким образом, в результате анализа данных мониторинга выявлены озера с аномальной концентрацией Ni, V, Cu, Cr и Pb в донных осадках. Установлено, что в донных отложениях рек средняя концентрация V, Cr, Mn и Ni выше, чем в озерах. Донные отложения рек с аномальным содержанием элементов обнаружены как в пунктах, расположенных в зонах техногенного воздействия, так и на фоновых участках.

Библиографические ссылки

1. Жуховицкая А. Л., Генералова В. А. Геохимия озер Белоруссии. Минск, 1991.
2. Мур Дж. В., Раммурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М., 1987.
3. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л., 1983.
4. Зырин Н. Г., Обухов А. И. Спектральный анализ почв, растений и других биологических материалов. М., 1977.
5. Reimann C., Filzmoser P., Garrett R. G. Background and threshold: critical comparison of methods of determination // Sci. Total Environ. 2005. Vol. 346, issues 1–3. P. 1–16.
6. Anselin Luc. Local Indicators of Spatial Association – LISA // Geogr. Analysis. 1995. Vol. 27, issue 2. P. 93–115.
7. Мартынова М. В. Формы нахождения марганца, их содержание и трансформация в пресноводных отложениях (аналитический обзор) // Экол. химия. 2012. Т. 21, № 1. С. 38–52.
8. Zerbe J., Sobczykński T., Elbanowska H., et al. Speciation of heavy metals in bottom sediments of lakes // Pol. J. Environ. Stud. 1999. Vol. 8, № 5. P. 331–339.
9. Лукашëв О. В., Жуковская Н. В., Лукашëва Н. Г. Ассоциации химических элементов в почвенном покрове природных и урбанизированных территорий // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2016. № 1. С. 46–55.
10. Петухова Н. Н., Кузнецов В. А. К кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси // Докл. АН Беларуси. 1992. Т. 36, № 5. С. 461–465.
11. Vlasov B. P., Gigevich G. S. Estimation of pollution of lakes of Belarus under the contents of heavy metals in water plants and bottom sediments // Limnol. rev. 2006. Vol. 6. P. 289–294.
12. Лукашëв О. В., Жуковская Н. В., Лукашëва Н. Г. и др. Содержание химических элементов в современных донных отложениях рек Беларуси (техногеохимический аспект) // Природопользование. 2015. Вып. 27. С. 109–117.
13. Geochemical Atlas of Europe. Part 1. Background information, methodology and maps. Geological Survey of Finland. 2005. URL: <http://www.gtk.fi/publ/foregsatlas/> (date of access: 05.02.2017).
14. Lis J., Pasięczna A. Geochemical atlas of Poland. 1 : 2 500 000. Warsaw, 1995.
15. Raulinaitis M., Ignatavičius G., Sinkevičius S., et al. Assessment of heavy metal contamination and spatial distribution in surface and subsurface sediment layers in the northern part of Lake Babrukas // Ekologija. 2012. Vol. 58, № 1. P. 33–43.
16. Klavins M., Kokorite I., Jankevica M., et al. Trace elements in sediments of lakes in Latvia // Recent Researches in Geography, Geology, Energy, Environment and Biomedicine : proc. of the 4th WSEAS Intern. conf. 2011. P. 43–47.

References

1. Zhukhovitskaya A. L., Generalova V. A. [Geochemistry of lakes of Belarus]. Minsk, 1991 (in Russ.).
2. Mur J. V., Ramamurti S. [Heavy metals in natural waters]. Moscow, 1987 (in Russ.).
3. [Manual for hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments]. Leningrad, 1983 (in Russ.).
4. Zyryn N. G., Obukhov A. I. [Spectral analysis of soils, plants and other biological materials]. Moscow, 1977 (in Russ.).
5. Reimann C., Filzmoser P., Garrett R. G. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *Sci. Total Environ.* 2005. Vol. 346, issues 1–3. P. 1–16.
6. Anselin Luc. Local Indicators of Spatial Association – LISA. *Geogr. Analysis.* 1995. Vol. 27, issue 2. P. 93–115.
7. Martynova M. V. Manganese forms, their contents, and transformation in freshwater sediments (analytical review). *Ekol. khim.* 2012. Vol. 21, No. 1. P. 38–52 (in Russ.).
8. Zerbe J., Sobczyński T., Elbanowska H., et al. Speciation of heavy metals in bottom sediments of lakes. *Pol. J. Environ. Stud.* 1999. Vol. 8, No. 5. P. 331–339.
9. Lukashev O. V., Zhukovskaya N. V., Lukasheva N. G. Ehe chemical elements Associations in the soils of natural and urban areas. *Vestnik BGU. Ser. 2, Khim. Biol. Geogr.* 2016. No. 1. C. 46–55 (in Russ.).
10. Petukhova N. N., Kuznetsov V. A. [Trace elements Clarkes in soil of Belarus]. *Dokl. AN Belarusi.* 1992. Vol. 36, No. 5. P. 461–465 (in Russ.).
11. Vlasov B. P., Gigevich G. S. Estimation of pollution of lakes of Belarus under the contents of heavy metals in water plants and bottom sediments. *Limnol. rev.* 2006. Vol. 6. P. 289–294.
12. Lukashev O. V., Zhukovskaya N. V., Lukasheva N. G., et al. Chemical elements contents in modern bottom sediments of Belarus rivers (technochemical aspect). *Prirodopol'zovaniye.* 2015. Issue 27. P. 109–117 (in Russ.).
13. Geochemical Atlas of Europe. Part 1. Background information, methodology and maps. Geological Survey of Finland. 2005. URL: <http://www.gtk.fi/publ/foregsatlas/> (date of access: 05.02.2017).
14. Lis J., Pasieczna A. Geochemical atlas of Poland. 1 : 2 500 000. Warsaw, 1995.
15. Raulinaitis M., Ignatavičius G., Sinkevičius S., et al. Assessment of heavy metal contamination and spatial distribution in surface and subsurface sediment layers in the northern part of Lake Babrukas. *Ekologija.* 2012. Vol. 58, No. 1. P. 33–43.
16. Klavins M., Kokorite I., Jankevica M., et al. Trace elements in sediments of lakes in Latvia. *Recent Researches in Geography, Geology, Energy, Environment and Biomedicine* : proc. of the 4th WSEAS Intern. conf. 2011. P. 43–47.

Статья поступила в редакцию 03.03.2017.
Received by editorial board 03.03.2017.