

УДК 549.25/28:581.526.3(476.22–1)Жлобин)

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИБРЕЖНО-ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ВОДОЕМОВ ВБЛИЗИ Г. ЖЛОБИНА ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Дайнеко Николай Михайлович¹,

Dajneko@gsu.by

Тимофеев Сергей Федорович¹,

Sertimo@mail.ru

Жадько Светлана Владимировна¹,

Zhadkosv@mail.ru

¹ Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, Республика Беларусь, 246019, г. Гомель, ул. Советская, 104.

Актуальность. Контроль процессов техногенного воздействия на окружающую среду от работы добывающих, горнообогатительных и перерабатывающих предприятий является современной важной научной и практической проблемой, при этом для оценки состояния водных объектов большое внимание уделяется анализу прибрежно-водной растительности и донным отложениям. Мониторинг содержания тяжелых металлов в растительных образцах эуэпифитов и в экологических группах изучаемых объектов на примере г. Жлобина Республики Беларусь позволит выработать подходы к разработке методик диагностики превышения предельно допустимых норм содержания этих элементов. Данные исследования по накоплению девяти тяжелых металлов в 49 растительных образцах разных экологических групп, проведенные вблизи Белорусского металлургического завода, указывают на актуальность этого направления, дополняют и согласуются с результатами исследований российских и зарубежных ученых.

Цель работы: выявить индикаторные виды и экологические группы растений, наиболее интенсивно накапливающие тяжелые металлы в водоемах.

Методы исследований: флористический, геоботанический, атомно-абсорбционный.

Результаты. Проведен анализ проб воды, почвогрунта, почвы, а также растительных образцов изучаемых объектов. В пробах воды содержание четырех химических элементов в отдельных объектах превышало предельно допустимую концентрацию – кобальта в 1,2–1,4 раза; марганца – в 4,2–5,1 раза; кадмия – в 1,2–1,8 раза; никеля – в 1,3–2,4 раза. В пробах почвы в двух объектах отмечалось превышение предельно допустимой концентрации меди в 1,4–11,6 раза. Наибольшее содержание тяжелых металлов в растительных образцах отмечалось у эуэпифитов, взвешенных в толще воды, плейстоэпифитов неукореняющихся и плейстоэпифитов укореняющихся. Установлено, что из проанализированных 49 растительных образцов 48 (98 %) превышали фоновое содержание Co, 45 (91,9 %) – Zn, 23 (47 %) – Mn, 22 (44,9 %) – Cu, 6 (12,3 %) – Ni, 5 (10,2 %) – Cr. У всех растительных образцов не обнаружено накопления Pb и Cd выше фона. Анализ показал, что более всего *Ceratophyllum demersum* L. 1753 накапливает Cu, Ni; *Lemna minor* L. 1753 – Cu, Cr, Mn, Ni; *Persicaria amphibia* (L.) S.F. Gray – Cu, Zn, Ni, Cr; *Nuphar lutea* (L.) Smith – Fe; *Glyceria maxima* (C. Hartm.) Holmb 1919 – Fe; *Typha latifolia* L. 1753 – Zn, Mn; *Sagittaria sagittifolia* L. – Ni, Cr; *Phalaroides arundinacea* (L.) Rauschert 1960 – Fe, Zn. Наиболее часто накапливаются такие химические элементы, как Cu, Ni, Cr, Fe, Mn. Полученные результаты содержания тяжелых металлов позволяют выявить площадь загрязнения природной среды вокруг промышленных центров, а также использовать их для геохимического мониторинга и на основе этого разрабатывать мероприятия по снижению тяжелых металлов в природной среде.

Ключевые слова:

Прибрежно-водная растительность, экологические группы, тяжелые металлы, фоновое содержание, растительные образцы, объекты.

Введение.

В последние десятилетия в процессы миграции тяжелых металлов в природной среде интенсивно включилась антропогенная деятельность человечества. Количества химических элементов, поступающие в окружающую среду в результате техногенеза, в ряде случаев значительно превосходят уровень их естественного поступления. Основными источниками антропогенного поступления тяжелых металлов в окружающую среду являются: тепловые электростанции, металлургические предприятия, транспорт, химические средства защиты сельскохозяйственных культур от болезней и вредителей, сжигание нефти и различных отходов, производство стекла, удобрений, цемента и

пр. [1]. Мониторинг накопления тяжелых металлов прибрежно-водной растительностью водоемов является одним из важнейших инструментов контроля процессов техногенного воздействия на окружающую среду, вызванного функционированием вышеперечисленных предприятий.

Высшие водные растения составляют неотъемлемый компонент водной экосистемы, формируют биологическое разнообразие, являются биологическими ресурсами, индикаторами состояния водной среды. Сложившаяся система контроля загрязнения водоемов базируется на анализе водной среды, которая характеризуется динамичностью и неустойчивостью концентрации и состава химических элементов во времени, что значительно сни-

жает информативность получаемых данных. В настоящее время для оценки состояния водных объектов большое внимание придается анализу депонирующих сред: высшей водной растительности и донным осадкам. Способность высших водных растений и осадков накапливать вещества в концентрациях, превышающих значения в водной среде, обусловила их использование в системе мониторинга и контроля состояния окружающей среды [2].

Влияние накопления тяжелых металлов на содержание пигментов фотосинтеза растений из прибрежной зоны города Тюмени изучали А.Л. Корнилов, Г.А. Петухова [3]. Особенности накопления тяжелых металлов высшей водной растительностью в условиях Волгоградского водохранилища изучала А.И. Кочеткова. Установлены корреляционные связи между Fe, Ni, Cr, Co, Mn, Cu, Zn, Pb и ряды накопления их в золе макрофитов. Выявлены виды-индикаторы Sr, Cu, Zn, Pb. По абсолютному содержанию в растениях тяжелые металлы подразделяются на четыре группы: элементы повышенной концентрации (Sr, Mn, Fe, Zn), средней (Cu, Ni, Cr, Pb) и низкой (Mo, Cd, Se, Co) [4].

Проведено исследование содержания тяжелых металлов в воде, макрофитовых и рыбах в бассейне р. Букукун в пределах Сохондинского государственного природного биосферного заповедника и его охранной зоны. Выявлено превышение допустимых норм в печени *Lota lota* (Linnaeus, 1758) по меди, мышцах *Brachymystax lenok* (Pallas, 1773) и *L. lota* по цинку. Необходимо проведение мониторинга за тяжелыми металлами на территории заповедника [5].

Впервые изучена флора канализационных очистных сооружений открытого типа в Тюмени (Западная Сибирь). Определено содержание тяжелых металлов в растениях аборигенных и адвентивных видов [6].

Представлены результаты изучения содержания ионов пяти тяжелых металлов (Fe, Mn, Ni, Zn, Cu) в вегетативных органах ряда видов макрофитов (*Carex acuta* L. 1753, *Equisetum fluviatile* L. 1753, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. 1840, *Typha angustifolia* L. 1753, *T. latifolia* L. 1753), произрастающих в рыбоводческих прудах СГУП «Рыбхоз "Пихтовка"» (Удмуртская Республика). В целях профилактики загрязнения водных экосистем ионами тяжелых металлов предложены биотехнические мероприятия, применение которых позволит оптимизировать среду обитания гидробионтов в условиях аквакультуры [7].

В современных условиях антропогенного воздействия оценка содержания тяжелых металлов в воде и выявление тенденций изменчивости их концентраций в речных экосистемах важны не только для определения уровня загрязненности рек, но и для поддержания экологической безопасности в регионе и принятия мер по восстановлению водных экосистем [8].

В работе А.Г. Уварова исследовано влияние эпифитовзвеси на увеличение концентраций тяжелых металлов (ТМ) в макрофитах. Рассмотрены особенности накопления ТМ взвесью на разных видах растений, обитающих в различных водных объектах, даны практические рекомендации по учету влияния взвеси на концентрации ТМ в водных растениях [9].

Влияние концентрации тяжелых металлов на водные растения и на необходимость постоянного контроля за их накоплением отмечалось в работах [10–17]. Результаты наших исследований [18–20] согласуются с результатами вышеперечисленных авторов.

Как показывает анализ литературных данных, проведенные исследования имеют научную и практическую значимость для Гомельского региона. В Гомельской области многие города с развитой промышленностью расположены на берегах рек Сож, Днепр, Припять, Березина, Двина, Ипуть. Так, в г. Жлобине, расположенном на берегу р. Днепр, находится крупный Белорусский металлургический завод, являющийся источником техногенного воздействия на окружающую среду.

Объекты и методы исследований

Материалом для исследований послужили пробы воды и почвы и образцы прибрежно-водной растительности, отобранные в летний период 2013 г. в водоемах вблизи крупного промышленного центра г. Жлобина. Флористический состав изучали по методу А.А. Корчагина [21]. Латинские названия видов высших растений даны по определителю [22]. Распределение растительности по экологическим группам осуществлялось по классификации Гигевича [23].

Было проанализировано 6 проб воды, 12 проб почвы и 49 растительных образцов.

Отбор проб воды из природных горизонтов водной толщи выполнялся батометром ПВ-1,0. В день отбора пробы доставлялись в лабораторию [24]. Пробу воды отбирали на профиле учета в зоне зарослей водных растений на глубине 20–30 см от поверхности. Объем пробы воды на химический анализ составлял не менее 2 литров. Кроме того, предварительную обработку, транспортировку и хранение проб производили таким образом, чтобы в содержании и составе определяемых компонентов и свойствах воды не происходило существенных изменений. Для этого пробу воды консервировали хлороформом (добавляли 2–4 мл CHCl_3 на 1 л пробы) [24, 25].

Отбор донных осадков производили пробоотборником ГР-51. Отобранные пробы донных отложений после доставки в лабораторию высушивали до воздушно-сухого состояния в фарфоровых чашках при температуре 75 °С. Затем измельчали в агатовой ступке и упаковывали в полиэтиленовые пакеты для последующего элементного анализа.

Отбор растительного материала производили на выбранных участках рек вручную. После доставки растительного материала в лабораторию его высушивали до воздушно-сухого состояния при температуре 65 °С. Затем пробы размалывали на лабораторной мельнице МРП-2, просеивали через сито и упаковывали в полиэтиленовые пакеты. Для определения тяжелых металлов растительный материал сжигали в муфельной печи (сухой способ минерализации), после чего полученную золу переводили солянокислой вытяжкой в мерные колбы и проводили элементарный анализ. Высушенные пробы, отобранные для определения химического состава, измельчали ножницами, секатором или в мельнице, помещали в пронумерованные пакеты, конверты или мешочки и передавали в химическую лабораторию на озонирование растений, которое выполняли при температуре 500 °С. В золе растений определяли содержание тяжелых металлов [24, 27].

Анализы проб воды и почвы, а также растительных образцов выполняли на атомно-абсорбционном спектрометре Solaar M-6 в РНИУП «Институт радиологии» МЧС РБ, в лаборатории массовых анализов.

Для определения аккумуляции исследуемых тяжелых металлов использовали коэффициент биологического накопления (КБН), показывающий способность растений избирательно поглощать химические элементы. Его вычисляли по формуле: $K_{\text{БН}} = \frac{\text{содержание элемента в растении}}{\text{содержание элемента в почве}}$. Считается, что если $K_{\text{БН}} > 1$, то растение является концентратором исследуемого элемента. Если $K_{\text{БН}} < 1$, то вид не аккумулирует металл в своем организме. Для водных растений $K_{\text{БН}} = \frac{\text{содержание элемента в растении}}{\text{содержание элемента в воде}}$.

При оценке фонового содержания тяжелых металлов в прибрежно-водных растениях использовалась работа белорусских исследователей, в которой приводятся значения фонового содержания [2].

Для определения качества воды в водоемах нами использовались показатели предельно допустимых концентраций (ПДК) тяжелых металлов в воде рыбохозяйственных водных объектов [28].

Ниже приводится характеристика объектов изучаемой прибрежно-водной растительности. Точки отбора проб были зафиксированы с помощью навигатора GPS Garmin 72. Координаты объекта: северная широта (N), восточная долгота (E).

Объект № 1. Правобережная пойма р. Днепр у моста против г. Жлобина выше выброса городской ливневки. Координаты: N 52°55'62", E 30°02'590".

Объект № 2. Правый низкий берег р. Днепр, вблизи лодочной станции г. Жлобина, ниже выброса ливневки. Координаты: N 52°53'562", E 30°03'796".

Объект № 3. Правобережное притеррасное озеро р. Добысна у моста, юго-западнее г. Жлобина,

напротив слива городской ливневки. Координаты: N 52°50'662", E 30°01'998".

Объект № 4. Правобережная притеррасная пойма р. Днепр напротив слива Жлобинского водоканала. Координаты: N 52°51'964", E 30°49'292".

Объект № 5. Правобережная центральная пойма р. Днепр в пяти км южнее г. Жлобина, ниже слива водоканала. Координаты: N 52°50'687", E 30°3'383".

Объект № 6. Озеро центральной правобережной поймы р. Днепр у моста выше слива городских вод Жлобинского водоканала. Координаты: N 52°55'752", E 30°2'123".

Результаты исследований

Ниже представлены результаты анализа проб воды и почвы. Анализ проб воды изучаемых объектов показал, что во всех объектах не наблюдалось превышения ПДК по железу, меди, цинку, свинцу, хromу. Во всех объектах содержание кадмия было выше ПДК от 1,2 раза в 6-м объекте до 1,8 раза в 5-м. В пяти объектах накопление никеля превышало уровень ПДК от 1,3 (во 2-м объекте) до 2,4 раза (в 6-м объекте). Содержание кобальта, соответственно, в 1,2 раза и 1,4 раза выше ПДК, а содержание марганца выше ПДК в 1-м объекте в 5,1 раза, а в 3-м – в 4,2 раза.

Таким образом, содержание четырех химических элементов: кобальта, марганца, никеля и кадмия, в отдельных объектах превышало уровень ПДК.

Анализ проб почвы изучаемых объектов выявил, что из двенадцати проб только в двух отмечалось превышение ПДК по содержанию меди: в 1-м объекте, в почвогрунте из воды – в 11,6 раза; в 3-м объекте, в почве с берега – в 1,4 раза. Анализ 49 растительных образцов показал, что в группу эугидрофитов, полностью погруженных, неукореняющихся, взвешанных в толще воды, входил один вид – роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum* L. 1753). Содержание меди в нем (7,2 мг/кг абс. сух. сост.) в два раза выше фона (3,0 мг/кг), никеля (1,1 мг/кг) – в 3,8 раза, хрома (2,3 мг/кг) – в 6,6 раза. Содержание остальных элементов (цинка, кобальта, марганца, свинца и кадмия) не превышало фона.

В группу плейстогидрофитов неукореняющихся, свободноплавающих входили два растительных образца одного вида ряски малой (*Lemna minor* L. 1753). Наибольшее количество железа (3736 мг/кг) содержала ряска малая в 5-м объекте, у нее же и высокий коэффициент накопления (Кн), равный 1245400. Также в данном объекте обнаружено содержание меди – 5,5 мг/кг, что выше фона в 1,6 раза. В обоих растительных образцах наблюдалось превышение фонового содержания по цинку в 3-м объекте – в 27,1 раза, здесь же был высокий Кн, а в 5-м объекте – в 4,2 раза. Наибольшее превышение фона по марганцу (2743 мг/кг) отмечалось в 5-м объекте – в 9,1 раза, у него же и высо-

кий КН (2742700). Содержание кадмия (0,01 мг/кг) не превышало фонового содержания. В обоих образцах никеля накапливалось выше фона: в 3-м объекте (2,8 мг/кг) в 9,4 раза, а в 5-м (0,76 мг/кг) – в 2,5 раза; хрома в 5-м объекте (1,9 мг/кг) – в 5,4 раза, и здесь самый высокий Кн (1850).

Группа плейстогигрофитов укореняющихся представлена двумя образцами кубышки желтой (*Nuphar lutea* L.) в 5-м и 6-м объектах и двумя образцами горца земноводного (*Persicaria amphibia* (L.) S.F. Gray) в 3-м и 5-м объектах. Из четырех растительных образцов только у горца земноводного в 5-м объекте наблюдалось превышение содержания меди (6,8 мг/кг) в 1,9 раза, у него же и большой Кн (4,6). Во всех растительных образцах наблюдалось превышение фона по цинку, особенно у горца земноводного в 3-м объекте (57,6 мг/кг) – 40,9 раза, здесь и выше Кн (10,4). Также во всех четырех образцах отмечалось превышение фона и по марганцу. Наибольшее содержание было у кубышки желтой в 5-м объекте (2179 мг/кг), что в 7,2 раза выше фона, а наибольший Кн (62,7) – у горца земноводного в 3-м объекте. По свинцу и кадмию не наблюдались превышения фона. Только два образца из четырех накапливали никель выше фона – горец земноводный (0,69 мг/кг) в 2,3 раза, кубышка желтая (0,37 мг/кг) – в 1,3. По хрому только горец земноводный в 5-м объекте (1,15 мг/кг) превышал фон в 3,4 раза, у него и самый высокий Кн.

Группа аэрогидрофитов высокорослых представлена шестью растительными образцами трех видов рогоза узколистного (*Typha angustifolia* L. 1753), манника большого (*Glyceria maxima* (C. Hartm.) Holub) и тростника обыкновенного (*Phragmites communis* Trin. 1820). Наибольшее содержание железа (257,6 мг/кг) было у манника большого в 5-м объекте, а Кн (0,395) – у рогоза узколистного в 3-м объекте. Содержание меди, свинца, кадмия, никеля и хрома у всех шести растительных образцов не превышало их фонового содержания. Одновременно с этим в тех же образцах отмечалось превышение фонового содержания цинка, особенно у рогоза узколистного в 6-м объекте (18,2 мг/кг), что в 9,4 раза выше фона, у него же и наибольший Кн (2,31). Только в двух растительных образцах рогоза узколистного в 3-м объекте (320 мг/кг) и особенно в 6-м объекте (2822,0 мг/кг) наблюдалось превышение фонового содержания марганца соответственно в 1,1 и 9,4 раза. Наибольший Кн отмечен у рогоза узколистного в 3-м объекте (34,4).

В группу аэрогидрофитов среднерослых входило 26 растительных образцов 8 видов: осоки острой (*Carex acuta* L.), осоки ложносытевой (*Carex pseudocyperus* L.), частухи подорожниковой (*Alisma plantago-aquatica* L. 1753), ежеголовника прямого (*Sparganium erectum* L. 1753), сусака зонтичного (*Butomus umbellatus* L. 1753), стрелолиста обыкновенного

(*Sagittaria sagittifolia* L. 1753), хвоща приречного (*Equisetum fluviatile* L. 1753), ситняга болотного (*Eleocharis palustris* (L. Roem. et Schult. 1902).

Наибольшим накоплением железа отличались стрелолист обыкновенный в 5-м (900 мг/кг), 2-м (818 мг/кг) и 6-м (694 мг/кг) объектах, а также ежеголовник прямой в 5-м объекте (680 мг/кг), высокий Кн зафиксирован у частухи подорожниковой в 3-м объекте (0,32). Из 26 растительных образцов у 20 отмечалось превышение фонового содержания по меди: более всего накапливалось у частухи подорожниковой во 2-м объекте (11,7 мг/кг), что в 3,3 раза выше фона, в 1-м, 3-м объектах, а у сусака зонтичного – в 5-м (6,5 мг/кг), почти в 2 раза больше фона.

У 22 растительных образцов из 26 наблюдалось превышение фонового содержания по цинку. Наибольшим накоплением отличались сусак зонтичный в 6-м объекте (38,9 мг/кг) – в 27,6 раза, частуха подорожниковая в 1-м и 2-м объектах – в 22,5 раза, а наибольший Кн (6,2) зафиксирован у хвоща приречного во 2-м объекте.

Из 26 растительных образцов у 13 отмечалось превышение фона по содержанию марганца, причем более всего у ежеголовника прямого (1745 мг/кг) – в 5,6 раза и стрелолиста обыкновенного (809,7 мг/кг) – в 2,7 раза в 5-м объекте. Наибольший Кн марганца (16,0) наблюдался у частухи подорожниковой в 3-м объекте.

Накопление свинца и кадмия не превышало фонового содержания. Из 26 растительных образцов только у стрелолиста обыкновенного в 6-м объекте зафиксировано превышение фонового содержания по никелю в 1,7 раза и по хрому в 1,8 раза.

Группа эуигрофитов высокорослых представлена тремя растительными образцами двукисточника тростниковидного (*Phalaroides arundinacea* (L.) Rauschert 1820). Наибольшие количества железа и Кн обнаружено у этого растения в 4-м объекте. Не отмечено превышение фонового содержания в растительных образцах меди, марганца, свинца, кадмия, никеля и хрома. Цинка все три растительных образца накапливали выше фона, а больше всего – двукисточник тростниковидный в 6-м объекте (36,2 мг/кг), у него и самый высокий Кн (4,5).

Содержание тяжелых металлов в растительных образцах эуигрофитов среднерослых представлено в табл. 1. Эуигрофиты среднерослые представлены 4 видами и 7 растительными образцами. Это вербейник обыкновенный (*Lysimachia vulgaris* L. 1753), поручейник широколистный (*Sium latifolium* L. 1753), крапива двудомная (*Urtica dioica* L. 1753), череда трехраздельная (*Bidens tripartite* L. 1753).

Наибольшее содержание железа отмечено у вербейника обыкновенного в 1-м объекте, а наибольший Кн – у крапивы двудомной – в 3-м объекте. У 4 растительных образцов (57,2 %) из 7 отме-

чалось превышение фонового содержания по меди, причем наибольшее превышение отмечено у череды трехраздельной в 6-м объекте в 2,3 раза, а также у поручейника широколистного в 1-м объекте, в 2,1 раза, у него же высокий КН. У всех растительных образцов наблюдалось превышение фонового содержания цинка, особенно у поручейника широколистного – в 48,8 раза, здесь и самый высокий КН. Только у двух растительных образцов отмечалось повышенное накопление марганца, самое высокое у поручейника широколистного во 2-м

объекте, выше фона в 2 раза. Во всех растительных образцах не обнаружено превышения фонового содержания по кадмию, свинцу, никелю и хрому.

Анализ содержания тяжелых металлов среди экологических групп показал (табл. 2), что наибольшее содержание железа и коэффициент накопления наблюдался у эугидрофитов, полностью погруженных, взвешенных в толще воды. Почти в два раза ниже содержание железа у плейстогидрофитов неукореняющихся, свободно плавающих. Также у эугидрофитов полностью погруженных, не-

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов в растительных образцах эугидрофитов среднерослых

Table 1. Content of heavy metals in plant samples of middle-height euhygrophytes

Вид растения, номер объекта Species, Study plot number	Определяемые показатели, абс.-сух. сост., мг/кг Chemical elements, absolutely dry state, mg/kg								
	Fe	Cu	Zn	Co	Mn	Pb	Cd	Ni	Cr
<i>Эугидрофиты среднерослые/Euhygrophytes, middle-height</i>									
Yellow loosestrife (<i>Lysimachia vulgaris</i>), 1	<u>400,0</u> 0,14	<u>4,6</u> 5,97	<u>6,0</u> 1,77	<u>0,03</u> 0,11	<u>158,0</u> 1,39	<u>0,04</u> 0,06	<u>0,01</u> 0,14	<u>0,07</u> 0,12	<u>0,04</u> 0,15
Great water-parsnip (<i>Sium latifolium</i>), 1	<u>36,0</u> 0,01	<u>7,4</u> 9,6	<u>68,0</u> 21,0	<u>0,03</u> 0,11	<u>95,0</u> 0,84	<u>0,04</u> 0,06	<u>0,01</u> 0,14	<u>0,10</u> 0,18	<u>0,03</u> 0,12
Great water-parsnip (<i>Sium latifolium</i>), 2	<u>243,0</u> 0,07	<u>1,43</u> 1,8	<u>3,0</u> 0,31	<u>0,03</u> 0,08	<u>609,0</u> 4,36	<u>0,04</u> 0,08	<u>0,01</u> 0,14	<u>0,09</u> 0,18	<u>0,01</u> 0,03
Common nettle (<i>Urtica dioica</i>), 3	<u>265,0</u> 0,18	<u>5,8</u> 1,38	<u>28,0</u> 3,17	<u>0,03</u> 0,12	<u>76,0</u> 0,75	<u>0,04</u> 0,01	<u>0,01</u> 0,14	<u>0,07</u> 0,13	<u>0,03</u> 0,03
Great water-parsnip (<i>Sium latifolium</i>), 4	<u>44,0</u> 0,01	<u>1,7</u> 0,66	<u>13,0</u> 0,42	<u>0,03</u> 0,03	<u>168,0</u> 0,33	<u>0,04</u> 0,02	<u>0,01</u> 0,14	<u>0,02</u> 0,01	<u>0,02</u> 0,01
Great water-parsnip (<i>Sium latifolium</i>), 5	<u>131,0</u> 0,02	<u>3,6</u> 1,30	<u>25,0</u> 1,65	<u>0,03</u> 0,03	<u>315,0</u> 0,73	<u>0,04</u> 0,01	<u>0,01</u> 0,14	<u>0,04</u> 0,02	<u>0,01</u> 0,01
Three-lobed Beggarticks (<i>Bidens tripartita</i>), 6	<u>119,0</u> 0,03	<u>8,1</u> 5,73	<u>19,0</u> 2,44	<u>0,03</u> 0,08	<u>114,0</u> 0,77	<u>0,04</u> 0,02	<u>0,01</u> 0,14	<u>0,07</u> 0,04	<u>0,01</u> 0,02
Среднее Mean	<u>177,0±58,9</u> 0,06	<u>4,7±0,98</u> 3,78	<u>23,0±3,4</u> 4,44	<u>0,03±0</u> 0,08	<u>219,0±71,5</u> 1,31	<u>0,04±0</u> 0,04	<u>0,01±0</u> 0,14	<u>0,07±0,01</u> 0,10	<u>0,02±0,005</u> 0,05
Фоновое содержание Background content	–	3,0	1,41	0,01	301,0	2,38	0,01	0,3	0,34

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в экологических группах изучаемых объектов г. Жлобина

Table 2. Content of heavy metals in ecological groups of plants of the studied sites near the city of Zhlobin

Экологические группы Ecological groups	Определяемые показатели, абс.-сух. сост., мг/кг Chemical elements, absolutely dry state, mg/kg								
	Fe	Cu	Zn	Co	Mn	Pb	Cd	Ni	Cr
Эугидрофиты, полностью погруженные, неукореняющиеся, взвешенные в толще воды <i>Euhygrophytes, fully submerged, not rooted, midwater</i>	<u>5261,0</u> 1753666	<u>7,2</u> 7210,0	<u>0,04</u> 20,0	<u>0,011</u> 0,0	<u>0,13</u> 130,0	<u>0,23</u> 230,0	<u>0,01</u> 1,11	<u>1,14</u> 87,7	<u>2,26</u> 2260,0
Плейстогидрофиты неукореняющиеся, свободно плавающие <i>Pleistohygrophytes, freely floating, not rooted</i>	<u>2675,2</u> 630771,0	<u>4,2</u> 3460,0	<u>22,03</u> 4193,0	<u>0,03</u> 30,0	<u>1855,0</u> 1372493	<u>0,04</u> 40,0	<u>0,01</u> 1,2	<u>1,80</u> 88,2	<u>1,10</u> 110,0
Плейстогидрофиты укореняющиеся <i>Pleistohygrophytes, rooted</i>	<u>747,0</u> 0,45	<u>2,5</u> 7,9	<u>21,4</u> 3,9	<u>0,03</u> 0,11	<u>1201,0</u> 20,5	<u>0,04</u> 0,08	<u>0,01</u> 0,14	<u>0,30</u> 0,97	<u>0,39</u> 0,24
Аэрогидрофиты высокорослые <i>Aerohygrophytes, high-height</i>	<u>143,0</u> 0,12	<u>1,47</u> 2,5	<u>8,82</u> 1,4	<u>0,03</u> 0,09	<u>611,0</u> 10,7	<u>0,04</u> 0,04	<u>0,01</u> 0,14	<u>0,06</u> 0,09	<u>0,02</u> 0,03
Аэрогидрофиты среднерослые <i>Aerohygrophytes, middle-height</i>	<u>220,0</u> 0,08	<u>3,7</u> 11,6	<u>12,5</u> 2,0	<u>0,03</u> 0,10	<u>324,0</u> 2,2	<u>0,04</u> 0,07	<u>0,01</u> 0,14	<u>0,07</u> 0,12	<u>0,04</u> 0,06
Эугидрофиты высокорослые <i>Euhygrophytes, high-height</i>	<u>156,0</u> 0,02	<u>2,2</u> 1,7	<u>14,64</u> 1,7	<u>0,03</u> 0,06	<u>125,0</u> 0,63	<u>0,04</u> 0,04	<u>0,01</u> 0,14	<u>0,04</u> 0,04	<u>0,04</u> 0,05
Эугидрофиты среднерослые <i>Euhygrophytes, middle-height</i>	<u>177,0</u> 0,06	<u>4,7</u> 3,8	<u>23,2</u> 4,4	<u>0,03</u> 0,08	<u>219,0</u> 1,32	<u>0,04</u> 0,04	<u>0,01</u> 0,14	<u>0,07</u> 0,10	<u>0,02</u> 0,05
Фоновое содержание Background content	–	3,0	1,41	0,01	301,0	2,38	0,01	0,3	0,34

Примечание. В числителе указано содержание тяжелых металлов в растениях, в знаменателе – коэффициент накопления.

Note. The numerator indicates the content of heavy metals in plants, the denominator – the accumulation coefficient.

кореняющихся, взвешенных в толще воды отмечено и самое высокое содержание меди среди остальных экологических групп, а наибольший КН зафиксирован у аэрогидрофитов среднерослых. Во всех экологических группах, за исключением эугидрофитов полностью погруженных, неукореняющихся, взвешенных в толще воды, наблюдалось превышение фонового содержания цинка, особенно у эугидрофитов среднерослых – в 16,5 раза, и у плейстогидрофитов неукореняющихся, свободно плавающих – в 15,6 раза, у них же и высокий КН. Наибольшее содержание марганца отмечалось в группе плейстогидрофитов неукореняющихся, свободно плавающих, здесь превышение фона было в 6,2 раза, у них и самый высокий КН, у плейстогидрофитов укореняющихся – в 4 раза. У всех экологических групп содержание свинца оказалось гораздо ниже фона, а кобальта, за исключением эугидрофитов неукореняющихся, взвешенных в толще воды – в 3 раза выше фона. У эугидрофита роголистника, погруженного в 5-м объекте, содержание цинка было в 5,75 раза выше, чем у остальных групп, а КН превосходил в десятки раз. Также во всех экологических группах содержание кадмия не превышало фонового, и оно было практически равным во всех экологических группах. Только в двух экологических группах зафиксировано превышение фонового содержания по никелю: у плейстогидрофитов неукореняющихся, свободно плавающих – в 6 раз, у эугидрофитов, полностью погруженных, неукореняющихся, взвешенных в толще воды, – в 3,8 раза, а наибольший КН – у плейстогидрофитов укореняющихся. Наибольшее превышение фона и КН по содержанию хрома наблюдалось

у эугидрофита, полностью погруженного, неукореняющегося, взвешенного в толще воды, – в 6,6 раза, у плейстогидрофитов неукореняющихся, свободно плавающих – в 3,2 раза, и у плейстогидрофитов укореняющихся – в 1,13 раза.

Заключение

Анализ проб воды изучаемых объектов показал, что во всех объектах не наблюдалось превышения ПДК по железу, меди, цинку, свинцу, хрому. Содержание четырех химических элементов: кобальта, марганца, никеля и кадмия, в отдельных объектах превышало уровень ПДК.

Анализ проб почвы показал, что из двенадцати проб только в двух отмечалось превышение ПДК по содержанию меди, а в остальных пробах не установлено превышения ПДК по содержанию тяжелых металлов.

Практически во всех растительных образцах отмечено превышение фонового содержания кобальта и цинка – 98 и 91,9 % соответственно. В 47 % образцов зафиксировано превышение фонового содержания марганца и в 44,9 % образцов – меди. Тогда как для никеля и хрома этот показатель превышен в 12,3 и 10,2 % образцов соответственно.

Проведенные исследования позволили выявить семь видов растений, которые накапливали наибольшее количество тяжелых металлов. Так, ряска малая и горец земноводный более других накапливали медь, хром, марганец, никель, цинк, кубышка желтая и манник большой – железо, рогоз узколистный и двукосточник тростниковидный – цинк, марганец и цинк, железо, стрелолист – никель, хром.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. – М.: Мысль, 1983. – 272 с.
2. Власов Б.П., Гигевич Г.С. Использование высших водных растений для оценки и контроля за состоянием водной среды. – Мн.: БГУ, 2002. – 84 с.
3. Корнилов А.Л., Петухова Г.А. Влияние накопления тяжелых металлов на содержание пигментов фотосинтеза растений из прибрежной зоны водоемов г. Тюмени // Вестник Тюменского государственного университета. – 2012. – № 12. – С. 189–194.
4. Кочеткова А.И. О некоторых закономерностях накопления тяжелых металлов высшей водной растительностью на Волгоградском водохранилище // Вестник Волгоградского государственного университета. – 2012. – № 1 (20). – С. 305–309.
5. Куклин А.П., Афонин А.В. Содержание тяжелых металлов в воде и организмах в бассейне реки Букукун // Успехи современного естествознания. – 2014. – Вып. 5. – С. 85–89.
6. Ильминских Н.Г. Накопление тяжелых металлов синантропными растениями очистных сооружений города Тюмени // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – № 1 (9). – С. 2230–2232.
7. Капитонова О.А., Шалавина В.С., Алтынцев А.В. Содержание тяжелых металлов в макрофитах рыбохозяйственных прудов СГУП «Рыбхоз "Пихтовка"» (Удмуртская Республика) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – № 1. – С. 255–260.
8. Решетняк О.С., Рвачева М.Ю. Современные тенденции изменчивости содержания тяжелых металлов в воде рек Печенга и Нива // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – № 2 (21). – С. 128–130.
9. Уваров А.Г. Влияние эпифитовзвеси на накопление тяжелых металлов в макрофитах // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – Вып. 8. – С. 12–24.
10. Базарова Б.Б. Содержание химических элементов в *Elodea canadensis* Michx. в водоемах Забайкалья // Вода: химия и экология. – 2015. – № 7. – С. 43–51.
11. Aquatic acute species sensitivity distributions of ZnO and CuO nanoparticles / N. Adama, C. Schmitt, L. De Bruyn, D. Knapen, R. Blust // Science of the Total Environment. – 2015. – № 526. – P. 233–242.
12. Jing Li, Haixin Yu, Yaning Luan. Meta-Analysis of the Copper, Zinc, and Cadmium Absorption Capacities of Aquatic Plants in Heavy Metal-Polluted Water / Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2015. – № 12 (12). – P. 14958–14973.
13. Engina M.S., Uyanikb A., Kutbayc H.G. Accumulation of Heavy Metals in Water, Sediments and Wetland Plants of Kizilirmak Delta (Samsun, Turkey) // International Journal of Phytoremediation. – 2015. – V. 17. – Iss. 1. – P. 66–75.
14. Phillips D.P., Human L.R.D., Adams J.B. Wetland plants as indicators of heavy metal contamination // Marine Pollution Bulletin. – March 2015. – V. 92. – Iss. 1. – P. 227–232.
15. Strategies for Cd accumulation in *Dittrichia viscosa* (L.) Greuter: role of the cell wall, non-protein thiols and organic acids /

- R. Fernández, D. Fernández-Fuego, A. Bertrand, A. González // Plant Physiology and Biochemistry. – 2014. – № 78. – P. 63–70.
16. Uyanik A., Kutbay H.G. Accumulation of heavy metals in water, sediments and wetland plants of kizilirmak delta (samsun, Turkey) // Journal Phytoremediation. – 2015. – № 17. – P. 66–75.
17. Jing Li, Haixin Yu, Yaning Luan. Meta-Analysis of the Copper, Zinc, and Cadmium Absorption Capacities of Aquatic Plants in Heavy Metal-Polluted Water // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2015. – № 12. – P. 14958–14973.
18. Дайнеко Н.М., Тимофеев С.Ф. Аккумуляция радиоцезия и тяжелых металлов прибрежно-водной растительностью в некоторых районах Гомельской области (Республика Беларусь), приграничных с Брянской областью России // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 1. – С. 220–225.
19. Дайнеко Н.М., Тимофеев С.Ф. Оценка состояния прибрежно-водной растительности Гомельского района // Известия Гомельского государственного университета. – 2013. – № 5 (80). – С. 63–70.
20. Дайнеко Н.М., Тимофеев С.Ф. Накопление тяжелых металлов прибрежно-водной растительностью Гомельского региона. – Чернигов: Лозовой, 2014. – 208 с.
21. Корчагин А.А. Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения // Полевая геоботаника: сб. науч. ст. – Л.: Наука, 1964. – Т. 3. – С. 39–62.
22. Определитель высших растений Беларуси / под ред. В. И. Парфенова. – Мн.: Дизайн ПРО, 1999. – 472 с.
23. Гигевич Г.С., Власов Б.П., Вынаев Г.В. Высшие водные растения Беларуси: эколого-биологическая характеристика, использование и охрана. – Мн.: Издательский центр БГУ, 2001. – 231 с.
24. Русанов А.К. Основы количественного спектрального анализа руд и минералов. – М.: Недра, 1978. – 400 с.
25. Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. Руководство по химическому анализу вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 268 с.
26. Физические и физико-химические методы анализа при геохимических исследованиях / науч. ред. В.А. Рудник, А.А. Смыслов. – Л.: Недра, 1986. – 262 с.
27. Зайдель А.Н. Основы спектрального анализа. – М.: Наука, 1965. – 324 с.
28. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь №№ 43/42 от 8 мая 2007 г. URL: https://www.google.by/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahU-KEwj049fEj_LMAhXJXiWKNdaADqEQFggA-MAA&url=http%3A%2F%2Fminzdrav.gov.by%2Ffiles%2F000127_802014_N701-39_2009.doc&usg=AFQjCNFTanu9zzYX-px15e3mbtdHiyhe-g&bvm=bv.122676328,b s.1,d .bGs (дата обращения: 20.01.2016).

Поступила 22.02.2016 г.

Информация об авторах

Дайнеко Н.М. кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой ботаники и физиологии растений Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины.

Тимофеев С.Ф. кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины.

Жадько С.В. ассистент кафедры ботаники и физиологии растений Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины.

UDC 549.25/28:581.526.3(476.2-21)Жлобин

ACCUMULATION OF HEAVY METALS BY RIVERSIDE AND WATER VEGETATION IN WATER BODIES NEAR THE CITY OF ZHLOBIN, GOMEL REGION, BELARUS

Nikolai M. Dayneko¹,

Dajneko@gsu.by

Sergey F. Timofeev¹,

Sertimo@mail.ru

Svetlana V. Zhadko¹,

Zhadkosv@mail.ru

¹ F. Skorina Gomel State University,
104, Sovetskaya street, Gomel, 246019, Belarus.

Relevance. Monitoring of extractive, mining processing and recycling enterprises impact on the environment is the important current scientific and practical problem. The analysis of riverside and water vegetation, and bottom sediments is often used to assess the status of water bodies. Monitoring of heavy metals in euhygrophytes plant samples on the example of Zhlobin (Republic of Belarus) allows developing new techniques for estimating threshold limits excess. The study of accumulation of nine heavy metals in 49 plant samples, carried out near the Belarusian Steel Works, indicated the urgency of this trend, complement and consistent with the results of investigations of Russian and foreign researchers.

The main aim of the study is to reveal the indicator species and ecological plant groups with the most intensive accumulation of heavy metals in water bodies.

The methods used in the study: floristic, geobotanical, atomic absorption.

The results. The authors have analyzed water, soil and plant samples. In water, the maximum content of cobalt exceeded the threshold limits in 1,2–1,4 times, manganese – in 4,2–5,1 times, cadmium – in 1,2–1,8 times, nickel – in 1,3–2,4 times. In soil, the maximum content of copper exceeded the threshold limits in 1,4–11,6 times. Euhydrophytes and pleistophytes accumulated the highest levels of heavy metals. The maximum content of Co exceeded the background concentration in 48 (98 %) plant samples, Zn – 45 (91,9 %), Mn – 23 (47 %), Cu – 22 (44,9 %), Ni – 6 (12,3 %), Cr – 5 (10,2 %). The maximum content of Pb and Cd did not exceed the background concentration. *Ceratophyllum demersum* L. 1753 accumulated the highest levels of Cu and Ni, *Lemna minor* L. 1753 – Cu, Cr, Mn, Ni; *Persicaria amphibia* (L.) S.F. Gray – Cu, Zn, Ni, Cr; *Nuphar lutea* (L.) Smith – Fe; *Glyceria maxima* (C. Hartm.) Holub 1919 – Fe; *Typha latifolia* L. 1753 – Zn, Mn; *Sagittaria sagittifolia* L. 1753 – Ni, Cr; *Phalaroides arundinacea* (L.) Rauschert 1960 – Fe, Zn. Such elements as Cu, Ni, Cr, Fe, Mn are accumulated most of all. The results detect the environmental pollution area around the industrial centers. They can be used for geochemical monitoring and help us to develop the measures for reducing the heavy metal content in the environment.

Key words:

Riverside and water vegetation, ecological groups, heavy metals, background content, plant specimens, objects.

REFERENCES

- Dobrovolskiy V.V. *Geografiya mikroelementov. Globalnoe rasseyaniye* [Geography of microelements. Global scattering]. Moscow, Mysl Publ., 1983. 272 p.
- Vlasov B.P., Gigevich G.S. *Ispolzovanie vysshikh vodnykh rasteniy dlya otsenki i kontrolya za sostoyaniem vodnoy sredy* [Use of high water plants for estimating and controlling water medium state]. Minsk, BGU Press, 2002. 84 p.
- Kornilov A.L., Petukhova G.A. Influence of heavy metal accumulation on the content of pigments of photosynthesis of plants from coastal area of Tyumen water reservoirs. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, no. 12, pp. 189–194. In Rus.
- Kochetkova A.I. On some laws of heavy metal accumulation by high water plants on Volgograd water reservoir. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, no. 1 (20), pp. 305–309. In Rus.
- Kuklin A.P., Afonin A.V. Heavy metal content in water and organisms in the basin of the Bukukun river. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2014, Iss. 5, pp. 85–89. In Rus.
- Ilminkikh N.G. Heavy metal accumulation by synanthropic plants of treatment facilities in Tyumen. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2012, vol. 14, no. 1 (9), pp. 2230–2232. In Rus.
- Kapitonova O.A., Shalavina V.S., Altyintsev A.V. Heavy metal content in macrophytes of commercial fishing ponds of «Rybkhoz "Pihtovka"» (Udmurtskaya Respublika) *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2014, no. 1, pp. 255–260. In Rus.
- Reshetnyak O.S., Rvacheva M.Yu. Modern trends of instability of heavy metal content in the Pechenga and Niva rivers. *International Research Journal*, 2014, no. 2 (21), pp. 128–130. In Rus.
- Uvarov A.G. Vliyanie epifitovzvsvi na nakoplenie tyazhelykh metallov v makrofitakh [Influence of epiphyte-suspension on heavy metal accumulation in macrophytes]. *Aktualnye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 2015, Iss. 8, pp. 12–24.
- Bazarova B.B. Soderzhanie himicheskikh elementov v Elodea canadensis Michx. v vodoemah Zabaykalya [Chemical elements content in *Elodea canadensis* Michx. in Trans-Baikal water reservoirs]. *Water: chemistry and ecology*, 2015, no. 7, pp. 43–51.
- Adama N., Schmitt C., De Bruyn L., Knapen D., Blust R. Aquatic acute species sensitivity distributions of ZnO and CuO nanoparticles. *Science of the Total Environment*, 2015, no. 526, pp. 233–242.
- Jing Li, Haixin Yu, Yaning Luan. Meta-Analysis of the Copper, Zinc, and Cadmium Absorption Capacities of Aquatic Plants in Heavy Metal-Polluted Water. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2015, no. 12 (12), pp. 14958–14973.

13. Engina M.S., Uyanikb A., Kutbaye H.G. Accumulation of Heavy Metals in Water, Sediments and Wetland Plants of Kizilirmak Delta (Samsun, Turkey). *International Journal of Phytoremediation*, 2015, vol. 17, Iss. 1, pp. 66–75.
14. Phillips D.P., Human L.R.D., Adams J.B. Wetland plants as indicators of heavy metal contamination. *Marine Pollution Bulletin*, March 2015, vol. 92, Iss. 1, pp. 227–232.
15. Fernández R., Fernández-Fuego D., Bertrand A., González A. Strategies for Cd accumulation in *Dittrichia viscosa* (L.) Greuter: role of the cell wall, non-protein thiols and organic acids. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2014, no. 78, pp. 63–70.
16. Uyanik A., Kutbay H.G. Accumulation of heavy metals in water, sediments and wetland plants of kizilirmak delta (samsun, Turkey). *Journal Phytoremediation*, 2015, no. 17, pp. 66–75.
17. Jing Li, Haixin Yu, Yaning Luan. Meta-Analysis of the Copper, Zinc, and Cadmium Absorption Capacities of Aquatic Plants in Heavy Metal-Polluted Water. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2015, no. 12, pp. 14958–14973.
18. Dayneko N.M., Timofeev S.F. Accumulation of radiocesium and heavy metals by coast-water plants in some areas of Gomel region (Republic of Belarus), near-border with Bryansk region, Russia. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 323, no. 1, pp. 220–225. In Rus.
19. Dayneko N.M., Timofeev S.F. Estimation of the state of coast-water plants of Gomel region. *Izvestiya Gomelskogo gosudarstvenno-gouversiteta*, 2013, no. 5 (80), pp. 63–70. In Rus.
20. Dayneko N.M., Timofeev S.F. *Nakoplenie tyazhelykh metallov pribrezhno-vodnoy rastitelnostyu Gomelskogo regiona* [Heavy metal accumulation by coast-water plants in Gomel region]. Chernigov, Lozovoy Publ., 2014. 208 p.
21. Korchagin A.A. Vidovoy (floristicheskiy) sostav rastitelnykh sobshchestv i metody ego izucheniya [Floristic composition of plant association and methods for its study]. *Polevaya geobotanika* [Field geobotany]. Leningrad, Nauka Publ., 1964. Vol. 3, pp. 39–62.
22. *Opredelitel vysshikh rasteniy Belarusi* [Determination of high plants in Belarus]. Ed. by V.I. Parfenov. Minsk, Dizayn PRO Publ., 1999. 472 p.
23. Gigevich G.S., Vlasov B.P., Vynaev G.V. *Vysshie vodnye rasteniya Belarusi: ekologo-biologicheskaya kharakteristika, ispolzovanie i okhrana* [High water plants of Belarus: ecological and biological features, use and protection]. Minsk, BGU Publ., 2001. 231 p.
24. Rusanov A.K. *Osnovy kolichestvennogo spektralnogo analiza rud i mineralov* [Fundamentals of quantitative spectral analysis of ores and minerals]. Moscow, Nedra Publ., 1978. 400 p.
25. Alekin O.A., Semenov A.D., Skopintsev B.A. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu vod sushy* [Guidance on chemical analysis of land waters]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1973. 268 p.
26. *Fizicheskie i fiziko-khimicheskie metody analiza pri geokhimicheskikh issledovaniyakh* [Physical and physicochemical methods of analysis at geochemical investigations]. Ed. by V.A. Rudnik, A.A. Smyslov. Leningrad, Nedra Publ., 1986. 262 p.
27. Zaydel A.N. *Osnovy spektralnogo analiza* [Fundamentals of spectral analysis]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 324 p.
28. *Postanovlenie Ministerstva prirodnykh resursov i okhrany okruzhayushchey sredy Respubliki Belarus* no. 43/42 ot 8 maya 2007 g. [Resolution of the Ministry of Environmental Resources of the Republic of Belarus, no. 43/42, 8 may 2008]. Available at: https://www.google.by/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj049fEj_LMAhXJXiWKHdaADqEQFgga-MAA&url=http://minzdrav.gov.by/lcfi-les/000127_802014_N70-139_2009.doc&usg=AFQjCNFTanu9zzYX-px15e3mbtdHiyhe-g&bvm=bv.122676328,bs.1,d.bGs (accessed 20 January 2016).

Received: 22 February 2016.

Information about the authors

Nikolai M. Dayneko, Cand. Sc., associate professor, head of the department, F. Skorina Gomel State University.

Sergey F. Timofeev, Cand. Sc., associate professor, F. Skorina Gomel State University.

Svetlana V. Zhadko, teaching assistant, F. Skorina Gomel State University.