

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ С ПОЛУЧЕНИЕМ ТОВАРНОЙ ПРОДУКЦИИ

А.И. Семячков, В.А. Почечун, Н.А. Собгайда

**Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого**

Рассмотрены вопросы эффективной охраны окружающей, находящейся под интенсивным техногенным воздействием с помощью создания искусственной экологической системы, а также вопросы утилизации данной экологической системы с последующей добычей полезного сырья. Работа актуальна для стран с развитым горно-металлургическим и промышленным комплексом, а также для развития "зелёной экономики" этих стран.

Ключевые слова: Биосубстрат, растительность, водный объект, загрязняющие вещества, экологическая система, лабораторное моделирование, метод электрохимического извлечения тяжелых металлов

Innovative Technologies for Protecting Water Bodies from Pollution with Obtaining Marketable Products

A.I. Semyachkov, V.A. Pochechun, N.A. Sobgayda

**Ural State Mining University, 620144 Yekaterinburg, Russia,
the Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Science, 620014 Yekaterinburg, Russia,
Ural State Mining University, 620144 Yekaterinburg, Russia**

The paper considers the issues of effective protection of the environment, which is under intensive technological impact by creating an artificial ecological system along the path of pollutant flow, as well as issues of utilization of this ecological system with subsequent extraction of useful raw materials. This work is relevant for countries with a developed mining and metallurgical and industrial complex, as well as for the development of the "green economy" of these countries.

Key words: Biosubstrate, vegetation, water body, pollutants, ecological system, laboratory modeling, method of electrochemical extraction of heavy metals

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-05-16-21



В природных водах отдельные звенья биоценоза (например, высшая водная растительность) способны создавать условия, при которых происходит снижение концентрации ингредиентов в воде за счет различных физико-химических процессов. Известна способность некоторых звеньев биоты поглощать загрязняющие компоненты [1–3]. Вот эта совокупность воздействия отдельных звеньев биоты является, по-нашему мнению,

одним из возможных факторов, которые могут быть использованы для регулирования качества природных вод непосредственно в самом водном объекте. Однако возникает вопрос об утилизации или дальнейшем использовании биосубстрата после его отработки. Ведь, по сути, "отработанный" биосубстрат является мощным техногенным источником тяжелых металлов и других загрязняющих веществ (в том числе и в количестве промышлен-

ленных запасов). В работе рассмотрен специальный метод комплексной электрохимии, который дает возможность разлагать сырьё независимо от его состава и извлекать полезный компонент (в данном случае металл).

Материалы и методы

В работе использованы методы экологического мониторинга, графического моделирования и биоиндикации. Работа основывается на большом количестве данных из литературных источников и данных мониторинговых исследований. В работе рассмотрен метод комплексной электрохимической переработки проблемного сырья.

Результаты и обсуждение

Поглощение и накопление ионов веществ, не включающихся в процесс метаболизма, растительностью осуществляется пассивно в соответствии с градиентом концентрации (точнее — электрохимического потенциала) и проницаемостью плазмолеммы. В связи с этим избирательность к поглощению ограничена, что в принципе означает поглощение практически всех имеющихся в воде веществ. Процесс протекает в 2 этапа — собственно поглощение, или метаболическая (активная) абсорбция, и предшествующая ей неметаболическая абсорбция. Поглощения одного отдельно взятого иона не происходит, потому что при поглощении катионов возникает разность потенциалов, вызывающая одновременное поглощение анионов [1–4].

Белки протоплазмы заряжены преимущественно отрицательно, что является главной причиной их гидратации вследствие обладания каждой аминокислотой по крайней мере одной кислой и одной основной диссоциирующими группировками (аминокислоты представляют собой амфолиты). В присутствии сильных кислот аминокислоты ведут се-

бя как основания и при диссоциации поставляют в раствор определенные анионы. Присутствующие в воде катионы адсорбируются коллоидной частицей, разряжают ее и, таким образом, оказывают дегидратирующее действие. Двухвалентные ионы (цинк, медь, свинец и др.) оказывают более сильное действие, чем одновалентные. Кроме того, размер собственной гидратной оболочки ионов оказывает решающее влияние на характер их действия. Чем меньше диаметр иона, тем больше плотность зарядов на его поверхности, и, следовательно, больше насыщение; плотность зарядов не снижается под влиянием низких температур или ингибиторов дыхания.

Неметаболическое поглощение происходит вне диффузных барьеров, в свободном пространстве, в которое входят в основном клеточные стенки и межклетник. В свободном пространстве ионы перемещаются в соответствии с электрохимическим потенциалом и удерживаются благодаря адсорбции и распределению Доннана. Последнее устанавливается тогда, когда по одну сторону мембраны или внутри нее имеются неподвижные ионы. В месте расположения неподвижного аниона накапливаются подвижные катионы, но при этом происходит не уравнивание электрохимических потенциалов, а возникновение разности потенциалов, в соответствии с потенциалом Доннана, в месте нахождения неподвижного аниона. Вследствие преобладания анионных носителей зарядов в свободном пространстве адсорбируются по преимуществу катионы.

Передвижение ионов по растительности происходит по симпласту, т.е. присоединенной при помощи плазмодем протоплазмы всех вакуолей. Транспорт по симпласту достигает скорости 1–6 см/ч. Механизм этого процесса в настоящее время неясен: здесь имеют значение и диффузия, и кон-

векция, основывающиеся на непонятных пока субмикроскопических эффектах перемешивания, возможно при участии эндоплазматической сети. Таким образом, поглощение и усвоение компонентов происходит довольно быстро, а определяет количество поглощенного иона биомасса растительности. Следует учитывать и физиологическое состояние растительности, так как при снижении скорости роста усвоение замедляется. Также надо учитывать и другое обстоятельство: поглощение повышается при увеличении концентрации ингредиентов, но при этом возрастает угнетающее влияние компонентов на метаболизм растительности.

Опираясь на закон действующих масс, согласно которому происходит поглощение компонентов, можно сказать, что для того, чтобы достичь максимального усвоения, необходимо осуществлять процессы поглощения растениями, содержащими минимальное количество поглощаемых ингредиентов.

Обычно растительность рассматривается в симбиозе с другими звеньями экосистем: в одних случаях она является необходимым партнером в процессе жизнедеятельности микроорганизмов, ассимилирующих, например, нефтепродукты, в других — и сама потребляет ингредиенты, в третьих — регулируя реакцию среды, способствует снижению их концентрации за счет других процессов.

В случае регулирования концентрации соединений металлов в воде необходимо обратить особое внимание на возможность реализации третьего варианта — регулирования с помощью растений величины рН и, следовательно, фазовых переходов ингредиентов. Используя такие особенности, на наш взгляд, можно достичь максимального эффекта. В частности, предполагается, что в случае высоких концентраций фактор регулирова-

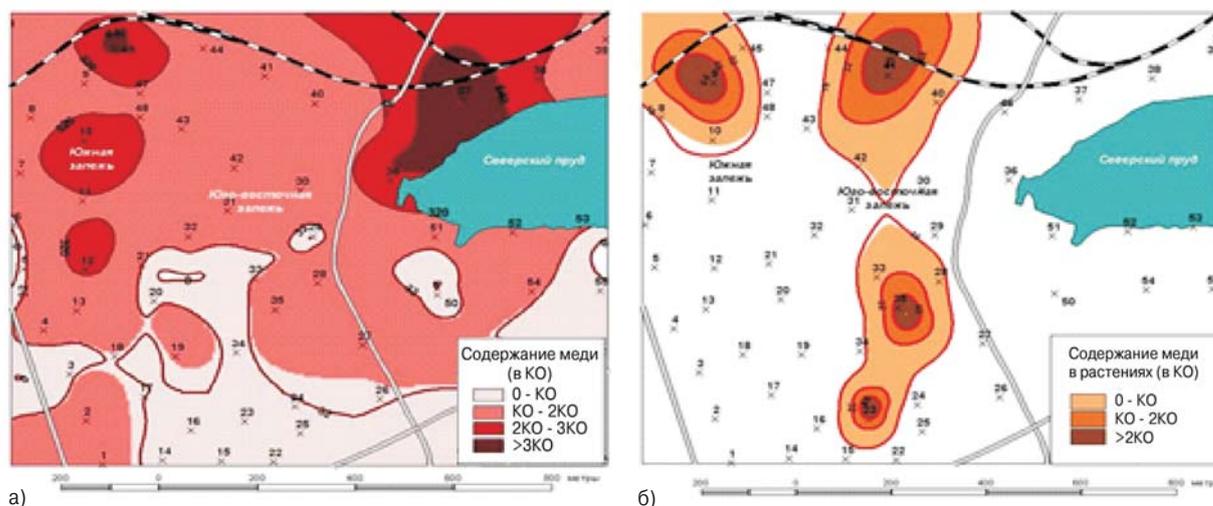


Рис. 1. Содержание меди, мг/кг, в почвах (а) и в растениях (б).

КО – критерий оценки который, позволяет использовать и ПДК, и фон. КО экологического состояния компонентов окружающей среды основаны на сочетании предельно допустимых и фоновых концентраций. Если значения ПДК и фоновых характеристик близки, то в качестве критериев используются ПДК. Если ПДК и фоновые характеристики значительно отличаются друг от друга, то в качестве критериев принимаются последние

Fig. 1. Copper content, mg / kg, in soils (a) and in plants (b).

EC – evaluation criterion which allows the use of MPC and background. EC of the ecological state of environmental components are based on a combination of maximum allowable and background concentrations. If the MPC values and background characteristics are close, then MPCs are used as criteria. If the MPC and background characteristics differ significantly from each other, then the last

ния рН (растения его чаще всего повышают) будет способствовать выведению ингредиентов из системы в виде малорастворимых соединений, а кондиционирование воды до уровня, отвечающего, скажем, требованиям, предъявляемым к воде водоемов рыбохозяйственного назначения, будет проходить за счет уже непосредственного поглощения растениями. Следовательно, в системе необходимо рассмотреть два основных процесса, регулирующих снижение концентрации ингредиентов: поглощение растительностью и фазовые переходы компонентов (чаще всего осаждение оксигидратов с сорбцией на них).

В связи с предполагаемой возможностью реализации процесса очистки природных вод от загрязняющих ингредиентов при помощи и с участием звеньев биоты возникает вопрос (помимо основного — о возможности кондиционирования): не будет ли происходить вторичное загрязнение при распаде биомассы отмирающего звена биоты, участвующего в процессе, и что делать с последней, если такое загрязнение будет происходить?

В ряде работ установлено, что при прохождении воды через заросли высшей водной растительности в ней заметно снижаются концентрации ингредиентов [1, 2]. Так, содержание железа уменьшается в 125–700 раз, меди — в 1,5–8 раз, цинка — в 1,6–6 раз, мышьяка — до 10 раз, свинца — до 3 раз, а кадмия — в 3–6 раз. В данных работах использовались следующие виды высшей водной растительности: рогоз узколистный, тростник обыкновенный, частуха подорожниковая, соsenка водяная, камыш озерный и хвощ болотный, характерные для зоны Среднего Урала. Также установлено, что наиболее высокие пределы токсичности по различным металлам из всех перечисленных видов растительности наблюдаются для рогоза узколистного и хвоща болотного: предельно токсичные концентрации мышьяка в растворе для рогоза узколистного составляют 10–12 мг/дм³, для хвоща болотного — 12–14 мг/дм³. Предельно токсичные концентрации ионов цинка для рогоза узколистного и хвоща болотного состав-

ляют 80–85 мг/дм³, меди — 24–28 мг/дм³.

Следует отметить, что реальные концентрации всех изучаемых ингредиентов, наблюдаемые в водотоках, ниже заданных в лабораторных экспериментах.

Анализ литературных источников показал также, что предел токсичности данных видов растительности не снижается при значениях рН 3–9, так как за счет поглощательной деятельности корней происходит сдвиг рН в нейтральную сторону. В литературе есть данные о том, что корневые выделения создают благоприятную среду для развития микрофлоры, способствуя образованию селективных гидробиоценозов, определенно влияющих не только на поглощательную способность корневой системы, но и на реакцию окружающей среды, в частности на рН [4].

В качестве модельного объекта для изучения самоочищающей способности выбрано Северское водохранилище, находящееся под воздействием предприятия ОАО "Уралгидромедь", расположенного на Гумешевском месторождении в районе г. Полевской Свердлов-

ской области и ведущего добычу меди.

В настоящее время на Гумешевском месторождении работает система опытно-промышленного подземного выщелачивания, и добыча меди реализуется через подачу в систему разноуровневых откачных и закачных скважин потоков рабочих выщелачивающих растворов, представляющих собой водный раствор серной технологической кислоты с концентрацией 10–30 г/дм³. В результате формируются сточные воды. Сточные воды поступают в Южный залив Северского пруда, образовавшегося в пойме р. Железянки. При разгрузке скважин образуются три основных загрязняющих стока в Железянский залив, который является частью Южного залива. Сточные воды, поступая в водные объекты, изменяют их естественный состав, влияя тем самым на экологическое состояние поверхностных вод [3, 4].

Современная экологическая ситуация оценивалась в ходе мониторинга, включающего оценку состояния компонентов окружающей среды. Для этого были отобраны пробы: поверхностных вод (230 проб), почв (60 проб), растительности (60 проб). Степень загрязнения этих компонентов оценивалась путем сопоставления концентраций содержащихся в них загрязняющих веществ с нормативными значениями.

Анализ полученных результатов показал следующее.

1. Экологическое состояние почвенно-растительного слоя территории сформировалось за счет заброшенных отвалов (положительные формы), а также заросших старых карьеров Гумешевского рудника, начавшего отработку медной руды еще в 1702 г. Среди тяжелых металлов, загрязняющих территорию, главное место принадлежит меди, концентрация которой превышает норматив в 2–3 раза (рис. 1). Анализ рис. 1 показывает, что в почвах ареал с максимальным содержанием

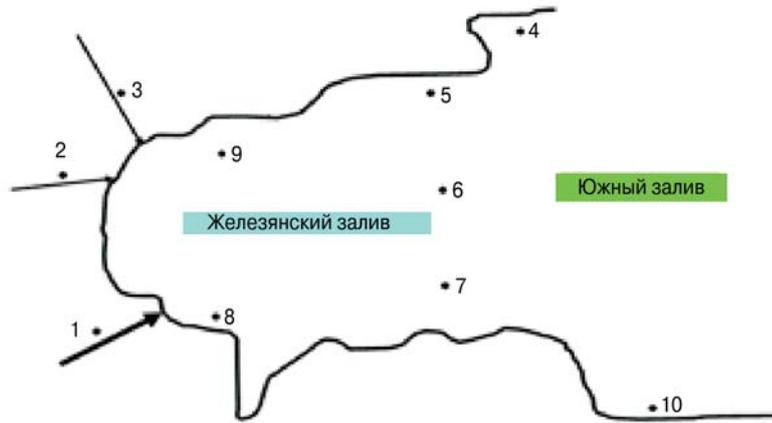


Рис. 2. Расположение стоков в Северское водохранилище и точки отбора проб:

↑ – локализованный сток загрязняющих веществ; • – точка опробования поверхностных вод

Fig. 2. Location of effluents in the Seversk reservoir and sampling points:

↑ – localized runoff of pollutants; • – sampling point of surface water

меди приурочен к Железянскому заливу Северского водохранилища, имеющего следующие основные параметры: длина 4,5 км; ширина 0,6 км; глубина 3,5 км; объем воды 12,5 млн м³. В растениях содержание меди по всей территории не превышает норматива.

2. Поверхностные воды представлены Южным заливом Северского пруда. Как сказано выше, загрязняющие вещества попадают сюда с промышленными стоками, сформировавшимися в результате процесса подземного выщелачивания, и в первую очередь попадают в

Таблица 1. Накопление некоторых компонентов высшими водными растениями в течение шести месяцев (май-октябрь)

Table 1. The accumulation of some components of higher aquatic plants for six months (May-October)

Водные растения	Cd	Cu	Pb	Fe	Zn	Ca	As
Содержание, мг/кг							
Листья рогоза, зеленые	0,021	0,0115	0,125	1,045	0,225	5,5	0,002
Корень рогоза	0,027	0,074	0,145	7,42	0,405	3,4	0,036
Листья тростника (отмирающие)	0,0165	0,0305	0,115	1,365	0,48	6,5	0,0005
Листья тростника, зеленые	0,0215	0,0435	0,115	6,66	0,29	2,6	0,0029
Соцветие тростника	0,029	0,05	0,011	0,108	0,004	–	–
Стебель тростника	0,025	0,0025	0,0105	0,0441	0,001	–	–
Корень тростника	0,2	0,1185	0,12	7,84	0,76	–	0,014
Водяная сосенка	0,029	0,094	0,085	0,34	0,125	6,00	0,0005
Частуха подорожниковая	0,029	0,038	0,014	0,166	0,007	–	0,008
Коэффициент накопления							
Листья рогоза, зеленые	17	0,02	13	0,09	0,036	255	0,03
Корень рогоза	22	0,15	15	0,65	0,57	157	0,48
Листья тростника (отмирающие)	20	0,06	12	0,12	0,68	301	0,007
Листья тростника, зеленые	17	0,09	12	0,58	0,41	12	0,03
Соцветие тростника	23	0,01	0,1	0,009	0,006	–	–
Стебель тростника	20	0,005	0,1	0,004	0,001	–	–
Корень тростника	16	0,237	12	0,68	108	278	0,18
Водяная сосенка	23	0,2	0,9	0,08	0,02	–	–
Частуха подорожниковая	23	0,08	0,14	0,014	0,01	–	0,03

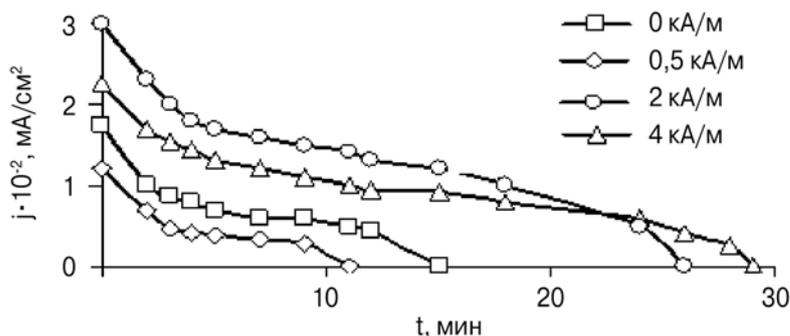


Рис. 3. Потенциостатические кривые, полученные при выделении меди на стеклографитовом электроде из вытяжки ряски при $E_{ст} = 0,32$ В (ряска предварительно находилась в растворе сульфата меди с содержанием Cu^{2+} 1 мг/л при воздействии магнитного поля различной напряженности)

Fig. 3. Potentiostatic curves obtained when copper was precipitated on a glassy carbon electrode from a duckweed extract at $E_{ст} = 0.32$ V (the duckweed was previously in a solution of copper sulfate with a Cu^{2+} 1 mg/l content when exposed to a magnetic field of various strengths)

Таблица 2. Результаты исследований самоочищающей способности Северского водохранилища, находящегося под воздействием ОАО "УРАЛГИДРОМЕД" в Полевском районе Свердловской области в течение одного года

Table 2. The results of studies of the self-cleaning ability of the Seversky reservoir, which is under the influence of JSC "URALHYDROMED" in Polevskoy district of the Sverdlovsk Oblast for one year

Компонент	ПДК хозяйственного, питьевого и бытового назначения, мг/л	Среднегодовая концентрация, мг/л		Разница концентраций, вход-выход, мг/л	Самоочищение, %*
		На входе	На выходе		
Сульфаты	500	4613,72	492,27	4121,45	100
Цинк	5	23,02	0,15	22,87	66,66
Медь	1	2,14	0,04	2,1	32,5

*Достигнута ПДК.

Железьянский залив, который является частью Южного залива. Химический анализ 154 проб воды, отобранных из 7 створов Южного залива (рис. 2), показал максимальные превышения над ПДК по следующим компонентам: медь — 100 ПДК, цинк — 5 ПДК, а в 76 пробах, взятых из трех стоков, поступающих в Железьянский залив, превышения загрязняющих элементов над нормативом составляют: медь — 2140 ПДК, цинк — 4604 ПДК.

Полученные данные позволяют заключить, что Южный залив является фактически техногенным водоемом, качество воды в котором формируется техногенными локализованными стоками.

Таким образом, наибольшее влияние на формирование неблагоприятной экологической ситуации оказывают поверхностные воды.

Эксперимент был проведен на экспериментальной ботанической площадке, организованной в Железьянском заливе Северского водохранилища. Его цель — установление характера процесса очищения воды: поглощение растительностью загрязняющих компонентов.

В первую очередь была определена возможность высших водных растений, обладающих наибольшей биомассой, к накоплению различных загрязняющих минеральных компонентов в условиях интенсивного загрязнения природных вод соединениями металлов. В табл. 1 представлены результаты определения накопления ингредиентов высшими водными растениями.

Проведенное моделирование ботанической площадки и изучение очищающей способности водоема — приёмника сточ-

ных вод в присутствии высшей водной растительности (рогоза узколистного и хвоща болотного) показало, что по загрязняющим компонентам — меди, цинку, сульфатам — достигается стабильное снижение концентрации до уровней, соответствующих требованиям, предъявляемым к воде водных объектов питьевого и общесанитарного назначения (табл. 2).

Таким образом, исследование работы экспериментальной ботанической площадки по очистке воды говорит о высокой эффективности предлагаемого метода регулирования качества воды.

При очистке поверхностных вод растительность выступает как сорбент загрязняющих веществ. Особенно это касается поверхностных вод, находящихся под интенсивным техногенным воздействием (например, горно-металлургических предприятий), где концентрации загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов, зачастую достигают промышленных запасов, и основной проблемой сорбционной очистки является утилизация сорбентов. В случае биообъектов регенерация невозможна, поэтому отработанные растения необходимо утилизировать [5, 6].

Вторая часть данной работы заключается в изучении возможности электрохимического извлечения сорбированных металлов из отработанной фитомассы.

Для этого был приготовлен элюат путем вытяжки из растительной сорбированного металла с помощью концентрированной серной кислоты. Последующее извлечение меди из элюата ($CuSO_4$) проводилось на стеклографитовом электроде в потенциостатическом режиме при потенциалах выделения меди, близких к равновесному ($E = 0,32 + 0,02$ В) на потенциостате П-5848 (рис. 3). Затраченное на протекание процесса количество электричества и массу выделившегося вещества определяли по закону М. Фарадея.

Учитывая, что в исследуемой области потенциалов не протекает никаких побочных процессов (например, разложение воды происходит при $E_{теор} = \pm 1,5$ В, при $E_{практ} = \pm 1,25$ В), можно считать, что вся энергия затрачивается на выделение массы меди.

Помимо потенциостатических кривых (ПСК) для сравнения определения меди в вытяжках снимались инверсионно-хроновольтамперометрические кривые (ИХВА) и проводился спектрофотометрический анализ (СФ) при соблюдении одинаковых условий. Проведенный анализ позволяет установить, что наиболее высокую концентрацию меди в вытяжках содержит ря-

ска, предварительно подвергнутая воздействию магнитного поля (МП) с напряженностью $H = 2,0$ кА/м. Лучшие данные по извлечению меди из элюата потенциостатическим методом получены при потенциале катодной поляризации $E_{кп} = 0,32$ В.

Аналогичный эксперимент по электрохимическому извлечению меди из отработанной фитомассы проводился на ряске, которая предварительно находилась в растворе сульфата меди при сочетании воздействия МП (напряженностью $H = 2$ кА/м) и слабых электрических полей с плотностью тока j 80, 240, 480 мкА/см². Результаты эксперимента позволили устано-

вить, что наиболее высокое содержание меди в фитомассе растения ряски обнаружено при фитосорбции меди растением под действием постоянного тока плотностью 240 мкА/см².

Установленный факт обусловлен тем, что в этих условиях достигается наиболее высокая проницаемость клетки, биомембранный потенциал которой зависит от ряда факторов, таких как природа металла — его заряд, размеры катиона, рН среды, влияние внешних факторов и др. [5, 6].

Таким образом, данная серия экспериментов позволяет утверждать, что с помощью данного метода возможна добыча металлов из биосубстрата.

Литература

1. Попов А.Н. Управление качеством поверхностных вод: проблемы, перспективы. Матер. 6-ой Междунар. конф. и выставки "AQATERRA". СПб., 2003. С. 215–217.
2. Попов А.Н., Беззапонная О.В. Исследование трансформации соединений металлов в поверхностных водах. Водные ресурсы. 2004. Т. 31. № 1. С. 46–50.
3. Попов А.Н., Почечун В.А., Семьячков А.И. Инновационные технологии защиты водных объектов в горнопромышленных районах. Под ред. проф. А.И. Семьячкова. Екатеринбург, Институт экономики УрО РАН, 2009. 128 с.
4. Почечун В.А., Архипов М.В., Кучин В.В. Регулирование содержания загрязняющих элементов в поверхностных водах, находящихся под воздействием горно-металлургического комплекса, с использованием звеньев водных экосистем. Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 1. С. 30–35.
5. Ольшанская Л.Н., Собгайда Н.А., Стоянов А.В. Влияние электромагнитных излучений на процесс биоэлектрохимического извлечения меди эйхорнией. Экология и промышленность России. 2011. Февраль. С. 53–54.
6. Ольшанская Л.Н., Собгайда Н.А., Стоянов А.В., Кулешова М.Л. Воздействие магнитного поля на электрохимию процессов извлечения тяжелых металлов ряской. Известия высших учебных заведений. Сер. Химия и химическая технология. 2010. Т. 53. № 9. С. 87–91.

References

1. Popov A.N. Upravlenie kachestvom poverkhnostnykh vod: problemy, perspektivy. Mater. 6-oi Mezhdunar. konf. i vystavki "AQATERRA". SPb., 2003. S. 215–217.
2. Popov A.N., Bezzaponnaya O.V. Issledovanie transformatsii soedinenii metallov v poverkhnostnykh vodakh. Vodnye resursy. 2004. T. 31. № 1. S. 46–50.
3. Popov A.N., Pochechun V.A., Semyachkov A.I. Innovatsionnye tekhnologii zashchity vodnykh ob'ektov v gornopromyshlennykh raionakh. Pod red. prof. A.I. Semyachkova. Ekaterinburg, Institut ekonomiki UrO RAN, 2009. 128 s.
4. Pochechun V.A., Arkhipov M.V., Kuchin V.V. Regulirovanie soderzhaniya zagryaznyayushchikh elementov v poverkhnostnykh vodakh, nakhodyashchikhsya pod vozdeistviem gorno-metallurgicheskogo kompleksa, s ispol'zovaniem zven'ev vodnykh ekosistem. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2017. T. 21. № 1. S. 30–35.
5. Ol'shanskaya L.N., Sobgaida N.A., Stoyanov A.V. Vliyanie elektromagnitnykh izlucheni na protsess bioelektrokhimicheskogo izvlecheniya medi eikhorniei. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2011. Fevral'. S. 53–54.
6. Ol'shanskaya L.N., Sobgaida N.A., Stoyanov A.V., Kuleshova M.L. Vozdeistvie magnitnogo polya na elektrokхимию protsessov izvlecheniya tyazhelykh metallov ryaskoi. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Ser. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. 2010. T. 53. № 9. S. 87–91.

А.И. Семьячков – д-р геол.-минерал. наук, зав. кафедрой, Уральский государственный горный университет, 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева 30, e-mail: semyachkov.a@ursmu.ru • В.А. Почечун – канд. геол.-минерал. наук, доцент, e-mail: viktoriyapochechun@mail.ru • Н.А. Собгайда – д-р техн. наук, зам. директора по науке Высшей школы биотехнологии и пищевых технологий ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 195251 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29, e-mail: conata07@list.ru

A.I. Semyachkov – Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Head of Department, Ural State Mining University, 620144 Russia, Yekaterinburg, Kuybysheva Str. 30, e-mail: semyachkov.a@ursmu.ru • V.A. Pochechun – Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Associate Professor, e-mail: viktoriyapochechun@mail.ru • N.A. Sobgaida – Dr. Sci. (Eng.), Deputy Director for Science, Higher School of Biotechnology and Food Technologies, St. Petersburg Polytechnic University of Peter the Great, 195251 Russia, St. Petersburg, Polytechnic Str. 29, e-mail: conata07@list.ru