

© Скупневский С.В., 2019

УДК 628.349.081.312.

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОЛИМЕРНЫХ ИОНООБМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

С.В. Скупневский

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, ул. Семашко, 2, г. Мытищи, 141014, Россия

Изучены сорбционные свойства полимерных волокнистых ионообменных материалов на основе полиакрилонитрильной матрицы, выпускаемых в виде катионита КН-1 и анионита АС-1, по отношению к солям тяжелых металлов и продуктам их химической трансформации с флотационными реагентами. Согласно полученным результатам, обменные процессы имеют высокую скорость, а материалы характеризуются высокой обменной емкостью – до 250 мг/г сорбента. Реализация каскадной схемы фильтрации обеспечивает очистку сильнозагрязненных мультикомпонентных промстоков до уровней, отвечающих гигиеническим требованиям. Преимущества изучаемых материалов является возможность их многократной регенерации (кислотой и щелочью) без утраты ими исходных свойств и возможность концентрирования десорбируемых металлов с целью их повторной переработки.

Ключевые слова: анионит АС-1, ионы тяжелых металлов, катионит КН-1, координационные соединения, промышленные сточные воды, сорбционная очистка вод.

S.V. Skupnevskiy □ **HYGIENIC EFFICIENCY OF WASTEWATER TREATMENT USING POLYMERIC ION-EXCHANGE MATERIALS** □ F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene of Rospotrebnadzor, 2 Semashko Str., Mytishchi, 141000, Russia.

Polymetric fibrous ion-exchange materials based on polyacrylonitrile matrix, produced in the form of cation-exchanger KN-1 and anion-exchanger AS-1 were the object of the study. We studied the sorption properties of these materials to heavy metal salts and products of their chemical transformation with flotation reagents. According to obtained results, exchange processes have high speed and materials are characterized by high value of absorption – up to 250 mg/g. The introduction of a cascade filtration scheme ensures the treatment of highly contaminated multicomponent industrial wastewater to levels that comply with the hygienic requirements. The advantages of the materials under study are the possibility of their repeated regeneration (by acid and alkali) without losing their original properties and the possibility of concentrating the desorbed metals for the purpose of their recycling again.

Key words: anion-exchanger AS-1, heavy metal ions, cation exchanger KN-1, coordination compounds, industrial wastewater, sorption water treatment.

Процессы добычи и переработки руд цветных металлов сопряжены с большим водооборотом и, как следствие, с образованием загрязненных промышленных сточных, рудничных и шахтных вод. На стадиях добычи, обогащения и выработки готовой продукции в технологии используется множество химических веществ, которые вступают в различные реакции с ионами тяжелых металлов [1, 14]. К числу наиболее вероятных продуктов химической трансформации следует отнести координационные соединения металлов с флотационными реагентами, которые являются довольно прочными и могут быть разрушены лишь под воздействием активных форм кислорода (озонирование) или высоких доз ультрафиолета [8]. Образование комплексных частиц изменяет физико-химические свойства образующих их ионов металлов, и многие существующие средства очистки промстоков оказываются малоэффективными. При этом биологические свойства образуемых *de novo* соединений могут кардинально отличаться от простых ионных форм [12], определяя более высокие риски для здоровья человека. Все это актуализирует разработку и изучение новых эффективных средств очистки сточных вод. Наиболее перспективными являются ионообменные материалы [6, 10, 11, 13, 16, 17], позволяющие организовать циклы замкнутого водооборота [3]. Основным недостатком множества внедренных и изучаемых в лабораторных исследованиях сорбентов является низкая обменная ем-

кость и невозможность их повторной регенерации [9]. Полимерные волокнистые ионообменные (ВИОН) материалы на основе полиакрилонитрильной матрицы лишены указанных недостатков, поскольку они обладают высокой сорбционной емкостью и выдерживают до 1 000 циклов регенерации без заметной утраты погложительных свойств [2, 5].

Цель исследования – изучить сорбционные свойства материалов ВИОН по отношению к солям тяжелых металлов и продуктам их химической трансформации.

Материалы и методы. Изучение сорбционных характеристик проводилось в условиях лабораторного эксперимента на синтетических растворах, содержащих соли тяжелых металлов и продукты их химической трансформации в виде координационных соединений, а также на промышленных образцах – шахтных и рудничных водах Холстинского месторождения; стоках металлургического завода ОАО «Электроцинк» – колодец № 25 (Республика Северная Осетия – Алания). Растворы готовились из солей классификации «ч.д.а.» или «х.ч.» на дистиллированной воде. Величина pH устанавливалась посредством титрования 0,01 Н растворами HCl или NaOH посредством универсального иономера – Аквилон И510. Аналитический контроль процессов сорбции осуществлялся с помощью двухлучевого сканирующего спектрофотометра (СФ) – Shimadzu UV-1650 PC и вольтамперометрического анализатора АЖЭ-11, оснащенного автоматическим блоком

управления и датчиком со стационарным ртутно-капельным электродом типа «висящей» ртутной капли в режиме дифференциальной импульсной полярографии (ДИП). Электрод сравнения – хлорсеребряный, вспомогательный – стеклоуглеродный. Режимы измерения – прямой и инверсионный с предварительным электронакоплением на электроде.

Моделирование процессов химической трансформации ионов тяжелых металлов с флотационными реагентами осуществлялось путем смешения исходных водных растворов, содержащих металл и лиганд, в мольном соотношении 1 : 8, что обеспечивает сдвиг равновесия в реакции комплексообразования вправо. При очистке водных растворов от указанных форм предварительно изучались их индивидуальные аналитические характеристики. Для этого снимались электронные спектры поглощения или дифференциально-импульсные вольтамперные кривые. Концентрация растворов при съемке электронных спектров поглощения подбиралась таким образом, чтобы величина оптической плотности (A) в максимуме находилась в диапазоне 0,05–2,0 ед.

Исследование формы и характера ДИП-пиков координационных соединений осуществлялось на 0,1 N растворе нитрата натрия в качестве фонового электролита [7], поскольку ионы NO_3^- оказывают слабое влияние на равновесие при комплексообразовании.

Изучение процессов сорбции проводилось в статическом и динамическом режимах. В статическом режиме образец фильтроткани массой 1 г помещался в раствор объемом 200–500 мл, содержащий сорбат, и при температуре 20 °C и постоянном перемешивании (магнитная мешалка) измерялась скорость поглощения в условиях, обеспечивающих максимальную аналитическую чувствительность и точность измерения методами СФ или ДИП. В условиях динамического режима фильтрующий образец массой 1 г помещался в стеклянную воронку и через него со скоростью 100 мл/мин пропусклся порциями очищаемый раствор до насыщения фильтра, что выражалось полным проскоком сорбируемого компонента.

Испытания на промышленных образцах проводились в динамическом режиме, для чего исходный объем раствора 500 мл пропусклся через сорбент массой 1 г со скоростью 100 мл/мин.

В качестве сорбентов выступали волокнистые полимерные ионообменные материалы на основе полиакрилонитрила, разработанные в НПО «Химволокно» (г. Мытищи), выпускаемые в виде катионита КН-1 и анионита АС-1 [4]. Регенерация КН-1 осуществлялась промывкой в динамическом режиме небольшими объемами 1–2%-го раствора минеральной кислоты (соляной), а затем 1–2%-м раствором щелочи (для восстановления исходных свойств). Для АС-1 очередность промывочных процедур была обратной (щелочь, кислота).

Исследования проведены на технических базах ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора (г. Мытищи) и ФГБОУ ВО «Северо-Осетинский государственный университет имени К.Л. Хетагурова» (г. Владикавказ).

Результаты исследования. На рис. 1 представлены кинетические кривые сорбции, отражающие поглотительные характеристики катионита КН-1 по отношению к токсичным солям тяжелых металлов.

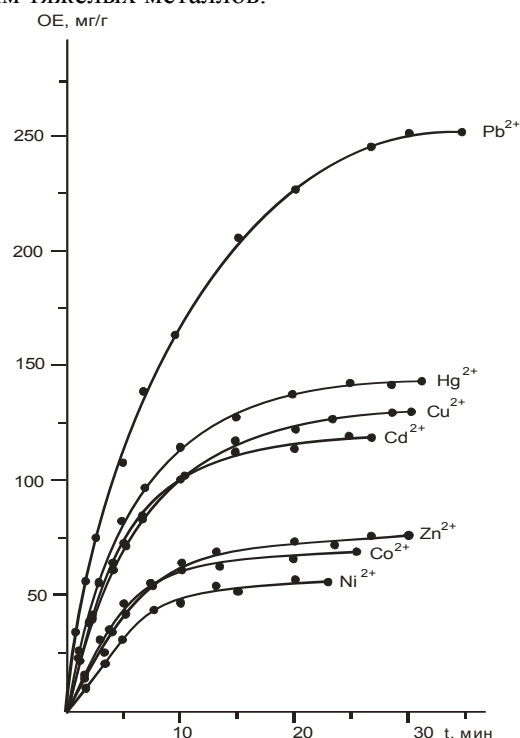


Рис. 1. Кинетические изотермы сорбции ионов переходных металлов катионитом КН-1 (здесь и далее: OE – величина обменной емкости, рассчитанная на 1 г сорбента)

Fig. 1. Kinetic isotherms of transition metal ions sorption with cation-exchanger KN-1 (hereinafter: OE – value of exchange capacity calculated per 1 g of sorbent)

Из рисунка видно, что ионы металлов имеют высокую аффинность к изучаемому сорбенту и могут быть расположены по сорбционной способности в следующий ряд: Pb^{2+} (256,1 мг/г) > Hg^{2+} (132,9 мг/г) > Cu^{2+} (125,1 мг/г) > Cd^{2+} (121,1 мг/г) > Zn^{2+} (75,2 мг/г) > Co^{2+} (74,6 мг/г) > Ni^{2+} (53,8 мг/г). Сконцентрированные таким образом на фильтре металлы могут быть извлечены в раствор для повторной переработки. Для этого необходимо обработать фильтроткань 1–2%-м раствором минеральной кислоты (соляной или серной), причем варьирование объема промывочной фазы открывает возможность доведения микропримесей до необходимой концентрации (в наших исследованиях – вплоть до десятков граммов на литр) с целью их повторной переработки. На рисунке отражена также кинетика процесса и видно, что обменные реакции протекают с высокой скоростью, приводя к полному насыщению активных центров на матрице сорбента за 25–30 минут в статическом режиме.

Формирование сточных вод промышленных предприятий происходит путем сбора стоков отдельных цехов и аппаратов в общий коллектор. При этом наиболее целесообразным является установка очистных сооружений в местах первичного образования загрязненных вод. Однако в зависимости от технологической схемы процесса величина pH указанных растворов

может колебаться в широких пределах. В этой связи представлялось логичным изучить кинетику сорбции ионов тяжелых металлов на катионите КН-1 в зависимости от варьирования кислотности среды (рис. 2).

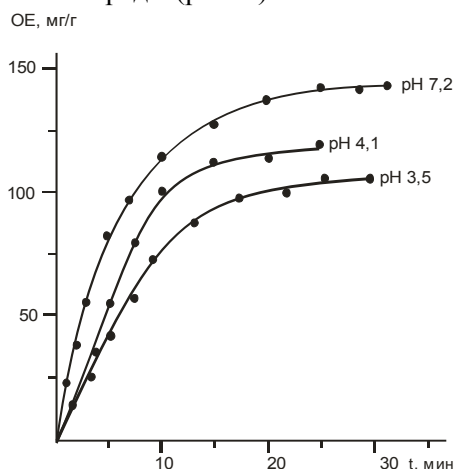


Рис. 2. Зависимость сорбционных характеристик катионита КН-1 от величины pH на примере водных растворов Hg(II)

Fig. 2. Dependence of sorption characteristics of cation-exchanger KN-1 on pH value by the example of aqueous solutions of Hg(II)

Из рисунка видно, что с понижением значения pH также закономерно снижается величина сорбционной обменной емкости (СОЕ) по металлу. Данный факт является вполне объяснимым с позиций конкурентного взаимодействия между положительно заряженными ионами ртути и катионами водорода за активные центры на матрице катионита. Поэтому в целях повышения эффективности очистки промышленных сточных вод и вод замкнутого цикла водооборота значения pH фильтруемых растворов необходимо поддерживать на максимально возможном высоком уровне (вплоть до начала образования малорастворимых гидроксидов тяжелых металлов).

Как показывают результаты гигиенического мониторинга водных объектов, содержание загрязняющих веществ в сточных водах может превышать нормативные показатели в сотни и даже тысячи раз. В этой связи изучена возможность многостадийной очистки водных растворов от загрязняющих веществ с помощью нетканых ВИОН-материалов, результаты исследований на рис. 3. Исходный мультикомпонентный раствор (в объеме 500 мл), содержащий по 200 мг/л Cu(II), Zn(II), Pb(II), Cd(II), был последовательно подвержен пяти стадиям фильтрации через катионит КН-1. После пятой стадии концентрации металлов снижались до значений 0,1–0,3 мг/л. На шестой стадии остаточные содержания тяжелых металлов оказались на уровне $(1-3) \cdot 10^{-3}$ мг/л, т. е. очищенная вода полностью удовлетворяла гигиеническим нормативам.

Результаты испытаний изучаемых волокнистых ионообменных материалов на промышленных сточных водах (ОАО «Электроцинк»), а также рудничных водах Холстинского месторождения показали, что при исходных значениях Zn(II) 0,9–4,12; Cu(II) 0,06–1,18; Pb(II) 0,02–2,14 и Cd(II) 0,01–0,97 мг/л после 1–3-й стадий очистки отмеченные загрязнители не обнаруживаются в пределах до 0,001 мг/л.

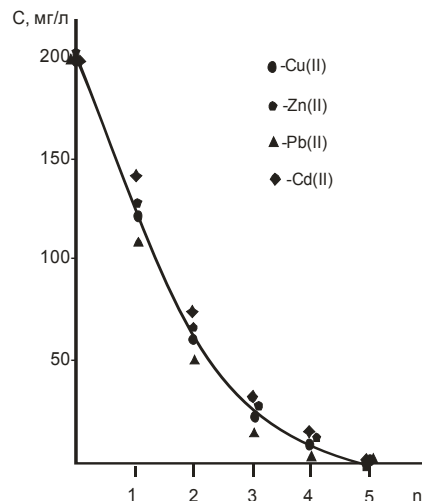


Рис. 3. Изучение возможности глубокой очистки водных растворов от ионов тяжелых металлов путем постадийной фильтрации через катионит КН-1

Fig. 3. Studying the possibility of deep purification of aqueous solutions from heavy metal ions by stepwise filtration through the cation-exchanger KN-1

Для экспериментального обоснования процессов комплексообразования ионов переходных металлов с флотационными реагентами проведено лабораторное моделирование указанных реакций и изучены их оптические и электрохимические свойства – базовые при изучении свойств координационных соединений [15]. Учитывая возможный состав технологических растворов и образующихся в них новых соединений, для исследований были отобраны следующие системы: Cu(II)-Py, Ni(II)-Py, Ni(II)-Tm, Ni(II)-SCN⁻, Ni(II)-CN⁻, Co(II)-Tm, Co(II)-SCN⁻, Co(II)-CN⁻, Cd(II)-CN⁻ (где Py – пиридин, Tm – тиомочевина). Сравнительные характеристики комплексных частиц с простыми ионными формами тяжелых металлов, а также их сорбционная способность (в сравнимых условиях эксперимента, что подразумевало одинаковые концентрации растворов по металлу и одинаковые массы сорбентов в обеих сравниваемых сериях; режим сорбции – динамический путем однократного пропуска раствора через ВИОН-материал) представлены в табл.

Результаты исследований, отраженные в таблице, свидетельствуют об открывающихся аналитических возможностях селективного контроля простых ионных форм тяжелых металлов и продуктов их химической трансформации в растворах. В случае окрашенных акваионов введение в систему неокрашенных лигандов приводит либо к смещению максимумов поглощения в электронных спектрах (как, например, в системах Ni(II)-Py, Co(II)-Tm), либо к появлению новых дополнительных максимумов (Co(II)-CN⁻).

Широкие перспективы избирательного определения координационных форм токсических соединений открываются также и в области полярографии, поскольку из 11 изученных систем лишь две оказались электрохимически неактивными (Ni(II)-CN⁻, Co(II)-CN⁻), а в случае с комплексами никеля с пиридином и кобальта с тиомочевинной чувствительность анализа по сравнению с растворами простых солей увеличивается в 11 и 3,8 раза соответственно.

Таблица. Физико-химические характеристики простых и комплексных форм тяжелых металлов и их сорбируемость волокнистыми ионообменными материалами
Table. Physico-chemical characteristics of simple and complex forms of heavy metals and their sorbability by fibrous ion exchange materials

Система	Полярография		Спектрофотометрия		Степень очистки, %	
	φ_n , В	H_n , мм	λ_{max} , нм	$A_{\lambda max}$	КН-1	АС-1
Cu(II)	-0,77	56,0	811	0,160	46,8	
Cu(II)-Py	-0,89	95,1	811	0,483	51,2	
Ni(II)	-0,90	22,3	399 662	0,815 0,108	23,6	
Ni(II)-Py	-0,72	240,1	377 620	1,819 0,850	32,2	
Ni(II)-Tm	-0,97	9,0	399 405 667	0,255 0,145 0,103	24,4	
Ni(II)-SCN ⁻	-0,99	15,4	396 408 660	0,495 0,244 0,217	36,3	
Ni(II)-CN ⁻	—	—	388	0,442		17,4
Co(II)	-1,35	35,8	507	0,349	38,4	
Co(II)-Py	-0,75	97,2	507	0,882	39,6	
Co(II)-Tm	-1,19	134	522	0,220	42,6	
Co(II)-SCN ⁻	-1,12	29,4	518	0,836	39,8	9,1
Co(II)-CN ⁻	—	—	457 616 798	0,708 0,190 1,086		15,8
Cd(II)	-0,68	40,7	—	—	—	—
Cd(II)-CN ⁻	-0,57	31,1	—	—	—	11,0

Изученные экспериментально аналитические свойства продуктов химического взаимодействия ионов тяжелых металлов с веществами, используемыми на стадии переработки руд, легли в основу анализа возможностей очистки водных растворов. Из таблицы видно, что в зависимости от заряда на внешней сфере изученные комплексы могут быть сорбированы либо на катионите КН-1, либо на анионите АС-1. При этом особого внимания заслуживает тот факт, что степень очистки растворов от продуктов химической трансформации с помощью волокнистых сорбентов во всех представленных системах выше, чем от простых форм ионов цветных металлов.

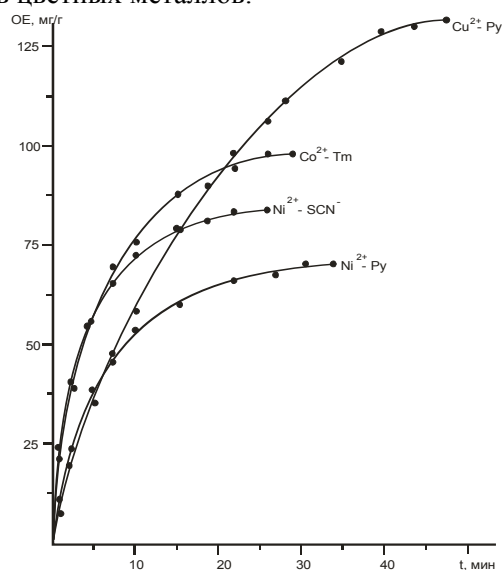


Рис. 4. Кинетические изотермы сорбции комплексных соединений тяжелых металлов на катионите КН-1

Fig. 4. Kinetic isotherms of complex compounds sorption of heavy metals on the cation-exchanger KN-1

Изучение сорбционной обменной емкости для координационных форм металлов представлено на рис. 4.

Кривые, представленные на рисунке, детализируют общую картину, представленную в таблице. Из графиков видно, что суммарное значение СОЕ для всех координационных соединений металлов выше, чем в случае сорбции их простых солей. На основании аффинности к катиониту КН-1 может быть построен следующий ряд: Cu(II)-Py (132,6 мг/г) > Co(II)-Tm (87,8 мг/г) > Ni(II)-SCN⁻ (81,9 мг/г) > Ni(II)-Py (68,2 мг/г).

Возможности сорбционной очистки растворов от отрицательно заряженных комплексных частиц представлены на рис. 5.

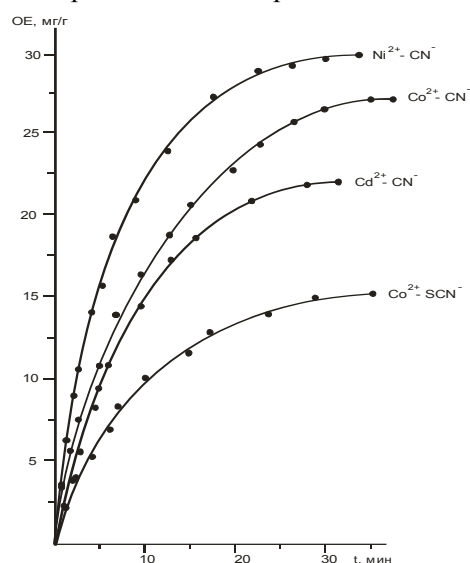


Рис. 5. Кинетические изотермы сорбции продуктов химической трансформации тяжелых металлов на анионите АС-1

Fig. 5. Kinetic isotherms of products of chemical transformation sorption of heavy metals on the anion-exchanger AS-1

В целом полученные значения COE на АС-1 уступают таковым для катионита, однако, учитывая то обстоятельство, что данного рода соединения присутствуют в относительно низких концентрациях, а на пути промстоков может быть установлено последовательно несколько полотен фильтров, в итоге должная степень очистки может быть реализована в промышленных масштабах. По своей сорбируемости на анионите токсиканты могут быть расположены в следующий ряд: Ni(II)-CN^- (33,3 мг/г) > Co(II)-CN^- (27,2 мг/г) > Cd(II)-CN^- (22,8 мг/г) > Co(II)-SCN^- (15,4 мг/г).

Заключение. Экспериментально доказаны высокие емкостные характеристики прогрессивных хемосорбентов на основе полиакрилонитрильной матрицы, выпускаемых промышленностью в виде катионита КН-1 и анионита АС-1. Результаты лабораторного эксперимента, проведенного на синтетических растворах, содержащих ионы тяжелых металлов, и промышленных сточных водах, показали эффективность волокнистых ионообменных материалов, позволяющих снизить содержание токсичных металлов и продуктов их химической трансформации с флотореагентами до уровня 0,001–0,003 мг/л, что удовлетворяет санитарно-гигиеническим нормам.

Внедрение изучаемых сорбентов в природоохранную практику позволит снизить риски для здоровья населения и окружающей среды со стороны приоритетных токсикантов – тяжелых металлов и продуктов их химических превращений.

ЛИТЕРАТУРА

(пп. 11–17 см. References)

1. **Абрамов А.А.** Флотационные методы обогащения. М.: Изд-во МГГУ, 2008. Т. 4. 710 с.
2. **Боровков Г.А., Зволнский В.П., Монастырская В.И.** Применение фильтрующих материалов ВИОН для очистки промышленных сточных вод // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2007. № 1. С. 50–55.
3. **Демкин В.И., Навитний А.М., Свитцов А.А., Каплун Ю.В.** Комплексная переработка шахтных вод с использованием мембранно-сорбционных методов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 1. С. 290–295.
4. **Зверев М.П., Абдулхакова З.З.** Волокнистые хемосорбенты. М.: Народный учитель, 2001. 176 с.
5. **Зверев М.П., Дорохина И.С., Бараш А.Н.** Ионообменные волокна на основе сополимеров 2-метил-5-винилпиридина с акрилонитрилом // Химические волокна. 1973. № 3. С. 71–72.
6. **Исхакова И.О., Ткачева В.Э.** Инновационные методы очистки сточных вод современного гальванического производства // Вестник технологического университета. 2016. № 19 (10). С. 143–146.
7. **Крюкова Т.А., Синякова С.И., Арефьева Т.В.** Полярографический анализ. М.: Госхимиздат, 1959. 772 с.
8. **Милованов Л.В.** Очистка сточных вод предприятий цветной металлургии. М.: Металлургия, 1971. 484 с.
9. **Минаева Л.А., Дударев В.И.** Современные методы деманганации природных и сточных вод // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2014. № 5 (10). С. 76–81.
10. **Николаев А.И., Герасимова Л.Г., Маслова М.В.** Новые сорбенты на основе техногенных продуктов ОАО «Апатит» для обезвреживания радиоактивных и токсичных отходов // Вестник Кольского научного центра РАН. 2014. № 2. С. 91–100.

REFERENCES

1. **Abramov A.A.** Flotatsionnye metody obogashcheniya [Flotation enrichment method]. Moscow: Izd-vo MGGU Publ., 2008, vol. 4, 710 p. (In Russ.)
2. **Borovkov G.A., Zvolinskii V.P., Monastyrskaya V.I.** Prime-nenie fil'truyushchikh materialov VION dlya ochestki promyshlennyykh stochnykh vod [Application of filtering materials VION for the purification of industrial wastewater]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Estestvennye nauki*, 2007, no. 1, pp. 50–55. (In Russ.)
3. **Demkin V.I., Navitnii A.M., Svittsov A.A., Kaplunov Yu.V.** Kompleksnaya pererabotka shakhtnykh vod s ispol'zovaniem membranno-sorbtsionnykh metodov [Complex processing of mine waters using membrane sorption methods]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal)*, 2010, no. 1, pp. 290–295. (In Russ.)
4. **Zverev M.P., Abdulkhakova Z.Z.** Voloknistyye khemosorbenty [Fibrous chemisorbents]. Moscow: Narodnyi uchitel' Publ., 2001, 176 p. (In Russ.)
5. **Zverev M.P., Dorokhina I.S., Barash A.N.** Ionoobmennyye volokna na osnove sopolimerov 2-metil-5-vinilpiridina s akri-lonitri-lom [Ion-exchange fibers based on copolymers of 2-methyl-5-vinylpyridine with acrylonitrile]. *Khimicheskie volokna*, 1973, no. 3, pp. 71–72. (In Russ.)
6. **Iskhakova I.O., Tkacheva V.E.** Innovatsionnye metody ochestki stochnykh vod sovremennogo gal'vanicheskogo proizvodstva [Innovative wastewater treatment methods of modern electroplating industry]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2016, no. 19 (10), pp. 143–146. (In Russ.)
7. **Kryukova T.A., Sinyakova S.I., Arefeva T.V.** Polyarografi-cheskii analiz [Polarographic analysis]. Moscow: Goskhimizdat Publ., 1959, 772 p. (In Russ.)
8. **Milovanov L.V.** Ochestka stochnykh vod predpriyatii tsvetnoi metallurgii [Wastewater treatment of non-ferrous metallurgy enterprises]. Moscow: Metallurgiya Publ., 1971, 484 p. (In Russ.)
9. **Minaeva L.A., Dudarev V.I.** Sovremennyye metody demanganatsii prirodnnykh i stochnykh vod [Modern methods of natural and waste water demanganization]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya*, 2014, no. 5 (10), pp. 76–81. (In Russ.)
10. **Nikolaev A.I., Gerasimova L.G., Maslova M.V.** Novyye sorbenty na osnove tekhnogennykh produktov OAO «Apatit» dlya obez-vrezhivaniya radioaktivnykh i toksichnykh otkhodov [New sorbents based on technogenic products of OOO Apatit for the disposal of radioactive and toxic waste]. *Vestnik Kolskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2014, no. 2, pp. 91–100. (In Russ.)
11. **Abdel-Raouf N., Al-Homaidan A.A., Ibraheem I.B.M.** Microal-gae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2012, no. 19 (3), pp. 257–275. DOI: 10.1016/j.sjbs.2012.04.005
12. **Haas K.L., Franz K.J.** Application of Metal Coordination Chemistry to Explore and Manipulate Cell Biology. *Chemical reviews*, 2009, no. 109 (10), pp. 4921–4960. DOI: 10.1021/cr900134a
13. **Lu Z., Wang H., Li J., Yuan L., Zhu L.** Adsorption characteristics of bio-adsorbent on chromium (III) in industrial wastewater. *Water science and technology*, 2015, no. 72 (7), pp. 1051–1061. DOI: 10.2166/wst.2015.237
14. **Nakhaei F., Irannajad M.** Reagents types in flotation of iron oxide minerals: A review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 2018, no. 39 (2), pp. 89–124. DOI.org/10.1080/08827508.2017.1391245
15. **Sathisha M.P., Revankar V.K., Pai K.S.R.** Synthesis, Structure, Electrochemistry, and Spectral Characterization of Bis-Isatin Thiocarbohydrazone Metal Complexes and Their Anti-tumor Activity Against Ehrlich Ascites Carcinoma in Swiss Albino Mice. *Metal-Based Drugs* 2008. 2008. 362105. DOI: 10.1155/2008/362105
16. **Sekhar M.C.** Removal of lead from aqueous effluents by ad-sorption on coconut shell carbon. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 2008, no. 50 (2), pp. 137–140.
17. **Turhanen P.A., Vepsäläinen J.J., Peräniemi S.** Advanced materi-al and approach for metal ions removal from aqueous solu-tions. *Scientific reports*. 2015. 5. 8992. DOI: 10.1038/srep08992

Контактная информация:

Скупневский Сергей Валерьевич, кандидат биологических наук, заведующий отделом медико-генетических исследований Института биомедицинских исследований Владикавказского научного центра
e-mail: dreammas@yandex.ru

Contact information:

Skupnevskiy Sergey, Candidate of Biological Sciences, Head at the Department of Medical and Genetic Research of the Institute of Biomedical Research of the Vladikavkaz Scientific Center
e-mail: dreammas@yandex.ru

