

УДК 662.641.1

ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТОРФА МЕСТОРОЖДЕНИЙ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

© Т.А. Адамович*, М.А. Зайцев, Е.В. Береснева

*Вятский государственный университет, ул. Московская, 36, Киров, 610000
(Россия), e-mail: ttjnadamvich@rambler.ru*

Статья посвящена изучению сорбционных свойств торфа. Исследована способность торфа низинного типа двух месторождений Кировской области сорбировать тяжелые металлы (ТМ) (на примере ионов свинца). Показано, что гуминовые вещества являются важнейшим компонентом торфа, определяющим его сорбционные свойства. На основании анализа физико-химических свойств торфа предпринята попытка раскрыть причины различия сорбционных свойств торфа разных месторождений. Изучены содержание в торфе тяжелых металлов, влаги, органических веществ, подвижного алюминия, зольность торфа, pH водной вытяжки из торфа. Результаты исследований показали, что содержание ТМ в торфе практически не влияет на его сорбционные свойства. В то же время они позволяют предположить, что зольность и содержание влаги могут оказывать влияние на величину сорбции. Содержание ТМ в низинных торфах изученных месторождений Кировской области не превышает значения ПДК/ОДК. Проведено биотестирование образцов торфа по двум тест-объектам – по изменению биолюминесценции бактериальной тест-системы «Эколюм» и по смертности *Daphnia magna*. Результаты биотестирования свидетельствуют о том, что изученные образцы не являются токсичными. Авторы полагают, что результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать торф изученных месторождений Кировской области к практическому использованию в качестве сорбента тяжелых металлов.

Ключевые слова: низинный торф, гуминовые кислоты, физико-химические свойства торфа, сорбционная способность.

Введение

Торф является широко распространенным полезным ископаемым, его запасы значительны и фактически в масштабах страны уступают только запасам угля. На территории России сосредоточено более 40% мировых запасов торфа, однако по темпам его добычи в настоящее время она уступает другим странам. Для территории Кировской области характерна большая распространенность болотных массивов, но наиболее заболоченными являются северные, центральные и западные районы. Торфяные болота в Кировской области занимают площадь примерно 274 тыс. га. При этом преобладают низинные болота. Из-за однородности состава и широкого распространения они являются перспективным источником такого недорогого сырья, как торф, для комплексного и многоцелевого использования его, в том числе для получения промышленных сорбентов и др. Изучение сорбционных свойств торфа и его компонентов является одной из первоочередных задач в области познания химии торфа [1].

Адамович Татьяна Анатольевна – доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии, кандидат географических наук,
e-mail: ttjnadamvich@rambler.ru

Зайцев Михаил Александрович – доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии, кандидат педагогических наук,
e-mail: michail-zajcev@yandex.ru

Береснева Елена Владимировна – профессор кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии, кандидат педагогических наук,
e-mail: evberesneva@mail.ru

Торф представляет собой сложную, многокомпонентную, полидисперсную, коллоидно-молекулярную систему, состоящую из трех частей: органической, минеральной и водной [2]. Органическое вещество торфа – ценное химическое сырье, химическая технология переработки торфа может проводиться в режиме гидролиза, термической обработки, экстракции и химической модификации. Торф имеет сложный химический состав, который определяется условиями генезиса,

* Автор, с которым следует вести переписку.

химическим составом растений-торфообразователей и степенью разложения [3–8]. Характерной особенностью представителей растительного мира является их способность к синтезу и накоплению огромного количества природных соединений, относящихся к продуктам фенольной природы.

Все виды торфа по составу и свойствам можно разделить на низинные, верховые и переходные, отличающиеся условиями образования, которые определяют их состав и соответственно сорбционные свойства [9–11]. Низинный торф содержит не менее 95% эвтрофных растений. В их состав включены кора и элементы древесины ивы, березы, ели, корни осоки, хвоща, тростника, стебли и листья мхов. Степень его разложения – от 10 до 60%.

Гуминовые вещества (ГВ), входящие в состав торфа, выполняют целый набор важных биосферных функций, в том числе регулирование геохимических потоков металлов в почвенных экосистемах и протекторную функцию, подразумевающую их способность связывать в прочные комплексы как ионы металлов, так и органические экотоксиканты в загрязненных водных и почвенных средах [12]. Экологические последствия такого связывания – изменение форм существования экотоксикантов и их миграционной способности, уменьшение биодоступности и токсичности.

Изучению сорбционных свойств торфа и гуминовых веществ посвящено немало исследований [1, 3, 9, 11–20]. В диссертационной работе И.А. Кузнецовой [11] исследована сорбционная способность как самой полимерной матрицы торфа, так и ее основного компонента – гуминовых кислот по отношению к ТМ и отмечено, что верховой торф Европейского Севера России может быть использован в качестве сорбента ТМ (Pb^{2+} и Cd^{2+}). В ряде работ изучены сорбционные свойства торфа по отношению к ионам меди [16, 21], кадмия, железа (III), хрома, алюминия, стронция и марганца [19] и др. Тем не менее, большинство исследований посвящено изучению свойств верхового торфа, а не низинного. В настоящей работе рассматриваются сорбционные свойства низинного торфа по отношению к ионам свинца Pb^{2+} . Выбор данных ионов обусловлен, во-первых, их высокой токсичностью и, следовательно, необходимостью их первоочередного контроля, а, во-вторых, их различной подвижностью в сильноокислых почвах.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования были образцы торфа, отобранные из двух месторождений Кировской области, расположенных в Котельничском и Зуевском районах. Первое месторождение, расположенное вблизи с. Чистополье Котельничского района, является неразработанным, торф используется местными жителями в сельскохозяйственных целях. На поверхности Чистопольской залежи произрастает ольха, ель, грушанка, изредка гравилат речной. Торф Чистопольского месторождения относится к низинному, имеет глубину залегания до 1.5 м. Месторождение возникло в результате зарастания пойменной части лесной реки Петровки [20].

На территории Зуевского района балансом учтены 8 резервных торфяных месторождений с запасами промышленных категорий А и В. Из резервных месторождений 3 являются крупными, площадью более 100 га. Кроме того, имеется 52 мелкозалежных и малоконтурных месторождения, часть из которых относится к высокозольным. Торф всех месторождений может использоваться в качестве удобрений, на некоторых торфяных месторождениях он пригоден на топливо. 21 торфяное месторождение Зуевского района ранее разрабатывалось, торф добывался в основном на удобрения для сельхозпредприятий. Исследуемый торф Зуевского месторождения относится к низинному.

Отбор проб производили согласно ГОСТ 21123-85. Гуминовые кислоты выделяли по методике, рекомендованной Международным обществом по исследованию гуминовых веществ (www.ihss.gatech.edu). Метод основан на выделении гуминовых веществ путем окисления торфа раствором щелочи и дальнейшем осаждении.



где Т – торф, содержащий гуминовые вещества; GK – радикал гуминовой кислоты; FK – фульвокислоты; GMK – гиматомелановой кислоты (гиматомелановая кислота).

Выделив гуминовые вещества, к ним добавляли 40 мл раствора нитрата свинца с концентрацией 13 мг/дм³, перемешивали в течение 40 мин с помощью шейкера. Затем определяли концентрацию ионов свинца в полученном растворе методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Величину сорбции ионов свинца гуминовыми кислотами рассчитывали по формуле (1).

$$a = \frac{(C_0 - C) \cdot V}{m} \quad (1)$$

где a – величина сорбции (мг/г); C_0 – исходная концентрация иона металла (мг/л); C – равновесная концентрация иона металла (мг/л); V – объем раствора соли металла (л); m – масса торфа (г).

Анализ образцов торфа на содержание тяжелых металлов проведен по методике измерений массовых концентраций элементов атомно-абсорбционным методом ФР.1.31.2012.13573. pH торфа определяли по методу ЦИНАО, содержание органического вещества – по методу Тюрина в модификации ЦИНАО, зольность торфа – по ГОСТ 27784-88, содержание влаги – по ГОСТ 11305-83. Исследование токсичности проб почвы проводили методами биотестирования. Для определения токсичности торфа использовали аттестованные методики. Токсичность водных вытяжек из торфа оценивали в биотестах по изменению биоллюминесценции бактериальной тест-системы «Эколюм» и по смертности *Daphnia magna*.

Обсуждение результатов

Экспериментальное изучение сорбции ионов свинца торфом приведено в таблице 1.

Результаты исследования показали, что торф обоих месторождений обладает способностью сорбировать ионы свинца из раствора. Однако эта способность у торфа разных месторождений незначительно отличается. Величина сорбции ионов свинца торфом Зуевского месторождения несколько выше (на 17.2%), чем торфом Котельничского.

Сорбционные свойства торфа связаны с присутствием в структуре таких ковалентно-связанных с матрицей функциональных групп, как аминные, амидные, спиртовые, альдегидные, карбоксильные, карбоксилатные, кетонные, фенольные, хинонные, пептидные и метоксильные, а также полимолекулярных ассоциатов, характеризующихся более или менее определенной организацией на макроуровне, – гуминовых веществ.

Для оценки того, насколько сорбционные свойства торфа определяются наличием в их составе гуминовых веществ, мы выделили из образцов торфа гуминовые кислоты и изучили величину сорбции ионов свинца ими.

Сорбционные свойства гуминовых кислот. Осадки гуминовой и гиматомелановой кислот легкоотделимы, их высушивают и получают темно-бурые или почти черные порошки. Любые ГВ полифункциональны. Их молекулы содержат карбоксильные группы –COOH, фенольные –OH, хинонные =C=O, аминогруппы –NH₂ и др. Их количество, во-первых, велико, во-вторых, они распределены неравномерно по молекулам различного размера, и даже молекулы одного размера могут различаться по содержанию функциональных групп.

Результаты проведенных исследований представлены в таблице 2.

Результаты исследования показали, что гуминовые кислоты из торфа обоих месторождений обладают значительно большей способностью сорбировать ионы свинца из раствора, чем сам торф (в 4.8–6.1 раза). Причем эта способность гуминовых кислот торфа разных месторождений практически одинакова.

Это позволяет сделать вывод о том, что гуминовые кислоты являются важнейшим компонентом торфа, определяющим его сорбционные свойства по отношению к ионам свинца.

Физико-химические свойства торфа. Была проведена оценка влияния физико-химических свойств торфа на его сорбционные свойства. Для этого экспериментально изучили содержание в торфе тяжелых металлов (ТМ), влаги, органических веществ, подвижного алюминия, зольность торфа, pH водной вытяжки из торфа.

Результаты определения содержания тяжелых металлов представлены в таблице 3.

Содержание тяжелых металлов (никель, медь, цинк, кадмий, железо, свинец) в торфяных низинных торфах Зуевского и Котельничского месторождений Кировской области не превышает значения ОДК для почв, близких к нейтральным (pH>5.5). Низинные торфы исследуемых месторождений Кировской области по уровню загрязнения ТМ классифицируются как незагрязненные.

Результаты определения содержания влаги, зольности, содержания органического вещества, подвижного алюминия представлены в таблице 4.

Таблица 1. Результаты исследования сорбции ионов свинца (II) торфом месторождений Кировской области

Название месторождения	Масса навески торфа, г	Концентрация ионов свинца в растворе после сорбции, мг/дм ³	Величина сорбции ионов свинца a , мг/г
Зуевское	0.0993	11.7±2.5	0.524±0.025
Котельничское	0.0997	11.9±2.5	0.441±0.011

Примечание: концентрация ионов свинца в исходном растворе для обоих образцов составляет 13.0±2.5 мг/дм³.

Таблица 2. Результаты исследования сорбции ионов свинца (II) гуминовыми кислотами, выделенными из торфа месторождений Кировской области

Название месторождения	Масса навески гуминовых кислот, г	Концентрация ионов свинца в растворе после сорбции, мг/дм ³	Величина сорбции ионов свинца a , мг/г
Зуевское	0.1004	6.6±1.4	2.55±0.15
Котельничское	0.0984	6.4±1.4	2.68±0.15

Примечание: концентрация ионов свинца в исходном растворе для обоих образцов составляет 13.0±2.5 мг/дм³.

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в торфе месторождений Кировской области, мг/кг

Название месторождения	pH	Cd	Cu	Zn	Fe	Ni	Pb
Зуевское	6.5±0.2	0.07±0.02	н/о	1.8±0.6	6.2±1.4	1.6±0.5	16.9±3.5
Котельничское	6.6±0.2	0.030±0.009	0.09±0.03	1.5±0.5	62±14	0.86±0.36	16.9±3.5
ОДК	–	2	132	220	–	80	130

Примечание: н/о – содержание меди ниже предела обнаружения метода атомно-абсорбционной спектроскопии.

Таблица 4. Химический состав и свойства торфа месторождений Кировской области

Название месторождения	pH	Содержание влаги, %	Зольность, %	Содержание органического вещества, %	Содержание Al ³⁺ , мг/100 г
Зуевское	6.5±0.2	38.0±0.2	33±5	32.1±3.2	1.62±0.16
Котельничское	6.6±0.2	34.1±0.5	30±5	54±5	1.53±0.15

Образец торфа Зуевского месторождения характеризуется высокими значениями влажности и зольности (38.0 и 33.0 мас.% соответственно) по сравнению с торфом Котельничского месторождения. Оба исследуемых образца торфа относят к высокозольным (более 12%). Высокозольный торф богат солями кальция, соединениями фосфора и железа, что является хорошим показателем для удобрения сельскохозяйственных культур. Большие значения показателя зольности являются результатом привнесенной зольности, типичной для осоковых, осоково-гипновых, тростниковых видов низинных торфов. Содержание органического вещества выше в торфе Котельничского месторождения, что коррелирует с показателями зольности и влажности.

Результаты исследований физико-химических свойств торфа показали, что содержание тяжелых металлов в торфе практически не оказывает влияния на его сорбционные свойства. Можно также предположить, что на сорбционные свойства оказывает влияние зольность, так как торф Зуевского месторождения имеет зольность на 3% выше, выше и величина сорбции им ионов свинца. Содержание влаги в торфе также может оказывать влияние на величину сорбции, однако четкой зависимости здесь не просматривается (влагоемкость торфа Зуевского месторождения незначительно выше, чем Котельничского, и величина сорбции отличается также незначительно). Результаты биотестирования показали, что торф обоих месторождений не является токсичным по обоим тест-объектам – по изменению биолюминесценции бактериальной тест-системы «Эколюм» и по смертности *Daphnia magna*.

Выводы

Приведены результаты исследования сорбционной способности, физико-химических и экотоксикологических свойств торфа разных месторождений Кировской области. Торф Зуевского и Котельничского месторождений обладает способностью сорбировать ионы свинца из раствора. Однако величина сорбции ионов свинца торфом Зуевского месторождения несколько выше, чем Котельничского. Гуминовые кислоты из торфа обоих месторождений обладают значительно большей способностью сорбировать ионы свинца из

раствора, чем сам торф. Содержание тяжелых металлов (никель, медь, цинк, кадмий, железо, свинец) в низинных торфах Зуевского и Котельничского месторождений Кировской области не превышает значения ПДК/ОДК. Торф обоих месторождений не является токсичным; по уровню содержания тяжелых металлов классифицируется как незагрязненный. Содержание тяжелых металлов в торфе практически не оказывает влияния на его сорбционные свойства.

В ходе проведенного исследования получены предварительные данные по влиянию различных факторов на сорбционные свойства торфа по отношению к тяжелым металлам (на примере ионов свинца). Детальное изучение влияния химического состава и физико-химических свойств торфа месторождений Кировской области на его сорбционную способность, а также изучение сорбционных свойств торфа по отношению к другим химическим соединениям могут явиться предметом дальнейших исследований. Изучение сорбционных и экотоксикологических свойств торфа позволяет сделать вывод о возможности рекомендовать его к практическому использованию в качестве сорбента тяжелых металлов.

Список литературы

1. Орлов А.С., Пономарева Т.И., Селянина С.Б., Труфанова М.В., Парфенова Л.Н. Структура и сорбционные свойства верхового торфа приарктических территорий // Успехи современного естествознания. 2017. №1. С. 18–22.
2. Гамаюнов Н.И., Гамаюнов С.Н. Современные аспекты физики торфа // Труды инсторфа. 2012. №6 (59). С. 22–36.
3. Кузнецова И.А., Ларионов Н.С. Химический состав и сорбционные свойства торфа – основа ресурсного потенциала типичных верховых болот северо-запада России // Успехи современного естествознания. 2018. №7. С. 165–170.
4. Азин В.Н. Минерально-сырьевые ресурсы Кировской области. Киров, 2003. 198 с.
5. Куликова М.П., Куулар Л.Л. Исследование химического состава торфа // Фундаментальные исследования. 2013. №4. С. 90–94.
6. Малыгин П.В., Любов В.К. Исследование структуры, состава и свойств торфа // Вестник Череповецкого государственного университета. 2014. №5. С. 12–18.
7. Димухаметов М.Ш., Димухаметов Д.М. Физико-механические свойства заторфованных грунтов Камской долины г. Перми и их изменение в результате действия пригрузки // Вестник Пермского университета. 2009. Вып. 11(37). С. 94–107.
8. Twardowska I. et al. Adsorption of zinc onto peat from peatlands of Poland and Israel // Journal of geochemical exploration. 1999. Vol. 66. N1–2. Pp. 387–405.
9. Лозинская Е.Ф., Чаплыгин Д.А. Влияние степени дисперсности торфа на его сорбционные свойства // Молодой ученый. 2014. №14. С. 31–33.
10. Ларина Г.В., Кайзер М.И., Кузнецова О.В., Самбуу С.И. Характеристика группового состава органического вещества торфа Алтайской горной области // Вестник ТГПУ. 2015. №2(155). С. 171–177.
11. Кузнецова И.А. Характеристика физико-химических свойств углеродсодержащего сорбента на основе гуминовой составляющей верхового торфа: дисс. ... канд. хим. наук. Архангельск, 2015. 119 с.
12. Боголицын К.Г., Бойцова Т.А., Кузнецова И.А., Ларионов Н.С., Паламарчук И.А., Аксенов А.С., Бровко О.С. Особенности комплексообразующих и сорбционных свойств гуминовых кислот верхового торфа Архангельской области // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». 2011. №3. С. 132–139.
13. Дмитриева Е.Д., Горячева А.А., Переломов Л.В., Сюднюкова К.В., Леонтьева М.М. Сорбционная способность гуминовых веществ торфов различного происхождения Тульской области по отношению к ионам Pb (II) // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2015. Вып. 4. С. 205–219.
14. Денисова А.И., Мосталыгина Л.В., Кокшарова Ю.В., Викулин Д.И. Новые композиционные природные материалы в качестве сорбентов ионов свинца (II) // Вестник КГУ. 2015. №3. С. 99–102.
15. Костин А.В., Мосталыгина Л.В., Бухтояров О.И. Изучение механизма сорбции ионов меди и свинца на бентонитовой глине // Сорбционные и хроматографические процессы. 2012. Т. 12, вып. 6. С. 949–957.
16. Платонова Д.С., Масоров М.С., Адеева Л.Н. Сорбция меди гуминовыми кислотами из сапропеля Омской области // Вестн. Ом. ун-та. 2014. №3. С. 47–50.
17. Савельева А.В., Иванов А.А., Юдина Н.В. Влияние структурных характеристик гуминовых кислот на эффективность взаимодействия с катионами поливалентных металлов // Химия растительного сырья. 2015. №4. С. 77–83. DOI: 10.14258/jcrpm.01504713.
18. Иванов А.А., Юдина Н.В., Савельева А.В. Сорбционные свойства модифицированного торфа // Химия твердого топлива. 2011. №6. С. 45–49.
19. Ларионов Н.С., Боголицын К.Г., Богданов М.В., Кузнецова И.А. Характеристика сорбционных свойств верхового торфа по отношению к d- и p-металлам // Химия растительного сырья. 2008. №4. С. 147–152.
20. Фокина А.И., Олькова А.С., Будина Д.В., Скугорева С.Г., Береснева Е.В., Даровских Л.В., Зыкова Ю.Н. Изучение потенциала торфа как сорбента ионов Cu (II) и Pb (II) из водных растворов // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. №3(71). С. 67–82. DOI:10.23968/2305-3488.2017.21.3.67-82.

21. Лозинская Е.Ф., Митракова Т.Н., Жилиева Н.А. Изучение сорбционных свойств природных сорбентов по отношению к ионам меди (II) // Ученые записки: электронный научный журнал Курского государственного университета. 2013. Т. 2. №3 (27). С. 173–180.

Поступила в редакцию 19 мая 2019 г.

После переработки 28 января 2020 г.

Принята к публикации 30 января 2020 г.

Для цитирования: Адамович Т.А., Зайцев М.А., Береснева Е.В. Изучение сорбционных свойств торфа месторождений Кировской области // Химия растительного сырья. 2020. №2. С. 299–305. DOI: 10.14258/jcrpm.2020025550.

*Adamovich T.A.**, *Zaytsev M.A.*, *Beresneva Ye.V.* THE STUDY OF SORPTION PROPERTIES OF PEAT DEPOSITS IN THE KIROV REGION

Vyatka State University, ul. Moskovskaya, 36, Kirov, 610000, (Russia), e-mail: ttjnadamvich@rambler.ru

The article is devoted to the study of the sorption properties of peat. The ability of low-level peat of two deposits of the Kirov region to absorb heavy metals (HM) was studied (using lead ions as an example). It is shown that humic substances are the most important component of peat, determining its sorption properties. Based on the analysis of the physicochemical properties of peat, an attempt was made to reveal the reasons for the difference in the sorption properties of peat of different deposits. The content of heavy metals, moisture, organic matter, mobile aluminum, the ash content of peat, and the pH of an aqueous extract from peat were studied in peat. The research results showed that the content of HM in peat practically does not affect its sorption properties. At the same time, they suggest that the ash content and moisture content may affect the sorption value. The content of HM in low-lying peat of the studied deposits of the Kirov region does not exceed the MPC/UEC. Biotesting of peat samples was carried out on two test objects – on the change in bioluminescence of the bacterial test system «Ekolyum» and on mortality *Daphnia magna*. The results of the biotesting testify that the studied samples are not toxic. The authors believe that the results of the studies allow us to recommend the peat of the studied deposits of the Kirov region for practical use as a heavy metal sorbent. **Keywords:** lowland peat, humic acids, physico-chemical properties of peat, sorption capacity.

Keywords: lowland peat, humic acids, physico-chemical properties of peat, sorption capacity.

* Corresponding author.

References

1. Orlov A.S., Ponomareva T.I., Selyanina S.B., Trufanova M.V., Parfenova L.N. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*, 2017, no. 1, pp. 18–22. (in Russ.).
2. Gamayunov N.I., Gamayunov S.N. *Trudy instortfa*, 2012, no. 6 (59), pp. 22–36. (in Russ.).
3. Kuznetsova I.A., Larionov N.S. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*, 2018, no. 7, pp. 165–170. (in Russ.).
4. Azin V.N. *Mineral'no-syr'yevyye resursy Kirovskoy oblasti*. [Mineral resources of the Kirov region]. Kirov, 2003, 198 p. (in Russ.).
5. Kulikova M.P., Kuular L.L. *Fundamental'nyye issledovaniya*, 2013, no. 4, pp. 90–94. (in Russ.).
6. Malygin P.V., Lyubov V.K. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, no. 5, pp. 12–18. (in Russ.).
7. Dimukhmetov M.Sh., Dimukhmetov D.M. *Vestnik Permskogo universiteta*, 2009, no. 11(37), pp. 94–107. (in Russ.).
8. Twardowska I. et al. *Journal of geochemical exploration*, 1999, vol. 66, no. 1–2, pp. 387–405.
9. Lozinskaya Ye.F., Chaplygin D.A. *Molodoy uchenyy*, 2014, no. 14, pp. 31–33. (in Russ.).
10. Larina G.V., Kayzer M.I., Kuznetsova O.V., Sambuu S.I. *TSPU Bulletin*, 2015, no. 2(155), pp. 171–177. (in Russ.).
11. Kuznetsova I.A. *Kharakteristika fiziko-khimicheskikh svoystv uglerodsoderzhashchego sorbenta na osnove guminovoy sostavlyayushchey verkhovogo torfa: diss. ... kand. khim. nauk*. [Characterization of the physicochemical properties of a carbon-containing sorbent based on the humic component of high peat: diss. ... cand. Chem. sciences]. Arkhangelsk, 2015, 119 p. (in Russ.).
12. Bogolitsyn K.G., Boytsova T.A., Kuznetsova I.A., Larionov N.S., Palamarchuk I.A., Aksenov A.S., Brovko O.S. *Vestnik MGOU. Seriya «Yestestvennyye nauki»*. 2011, no. 3, pp. 132–139. (in Russ.).
13. Dmitriyeva Ye.D., Goryacheva A.A., Perelomov L.V., Syundyukova K.V., Leont'yeva M.M. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Yestestvennyye nauki*, 2015, no. 4, pp. 205–219. (in Russ.).
14. Denisova A.I., Mostalygina L.V., Koksharova Yu.V., Vikulin D.I. *Vestnik KGU*, 2015, no. 3, pp. 99–102. (in Russ.).
15. Kostin A.V., Mostalygina L.V., Bukhtoyarov O.I. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy*, 2012, vol. 12, no. 6, pp. 949–957. (in Russ.).
16. Platonova D.S., Masorov M.S., Adeyeva L.N. *Vestnik Omskogo universiteta*, 2014, no. 3, pp. 47–50. (in Russ.).
17. Savel'yeva A.V., Ivanov A.A., Yudina N.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2015, no. 4, pp. 77–83. DOI: 10.14258/jcprm.01504713. (in Russ.).
18. Ivanov A.A., Yudina N.V., Savel'yeva A.V. *Khimiya tverdogo topliva*, 2011, no. 6, pp. 45–49. (in Russ.).
19. Larionov N.S., Bogolitsyn K.G., Bogdanov M.V., Kuznetsova I.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2008, no. 4, pp. 147–152. (in Russ.).
20. Fokina A.I., Ol'kova A.S., Budina D.V., Skugoreva S.G., Beresneva Ye.V., Darovskikh L.V., Zykova Yu.N. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya*, 2017, no. 3(71), pp. 67–82. DOI:10.23968/2305-3488.2017.21.3.67-82. (in Russ.).
21. Lozinskaya Ye.F., Mitrakova T.N., Zhilyayeva N.A. *Uchenyye zapiski: elektronnyy nauchnyy zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, vol. 2, no. 3 (27), pp. 173–180. (in Russ.).

Received May 19, 2019

Revised January 28, 2020

Accepted January 30, 2020

For citing: Adamovich T.A., Zaytsev M.A., Beresneva Ye.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 2, pp. 299–305. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2020025550.

